

2013 (1), A. Palanca Soler.-Lagos de origen glaciar desde el punto de vista de sus ranas.  
Rev. Fenol. Anat.(<https://anatolab.net/fundacion/FENOMICA/1998-2018.html>)



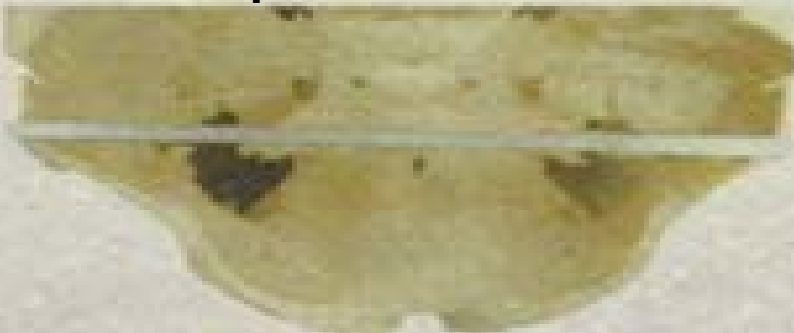
# Lagos de origen glaciar desde el punto de vista de sus ranas



**Diseño e implantación de nuevas tecnologías didácticas en los estudios predoctorales**

**LABORATORIO DE ANATOMÍA ANIMAL**

**Memorias doctorales complementarias, sincronizadas y realizadas en lugares de difícil acceso en el ámbito de la ecología y biología animal**



## Linea de investigación en ecología pirenaica

### AMBITO DE ESTUDIO

Los glaciares y los casquetes polares son las principales reservas de agua dulce en el planeta y por ello el principal seguro que poseen los ecosistemas y las comunidades humanas para su subsistencia. A causa de su estructura y tamaño, las montañas interceptan masas de aire forzándolas a elevarse y enfriarse y provocando precipitaciones como lluvia o nieve. Los glaciares son reservas estratégicas de nieve convertida en hielo y constituyen la única fuente de recarga de ríos, lagos y capas freáticas en las zonas áridas y en períodos de sequía. Durante los períodos de mayor extensión glacial, la presión ejercida por las grandes masas de hielo sobre el terreno por el que discurrían, especialmente en las zonas en que se produce una disminución de la pendiente, produjeron depresiones denominadas cubetas de sobreexcavación glacial. Con el retroceso de las masas de hielo, estas cubetas se transforman en áreas lacustres receptoras de aguas procedentes del deshielo de glaciares y neveros superiores.

A ocho horas en coche desde la Universidad de Vigo podemos alcanzar la base de los mazizos montañosos en los que aún existen algunos glaciarios y, sobre todo, lagos cuya génesis está directamente ligada a la dinámica glacial del Pleistoceno. Nos referimos al Pirineo occidental donde encontramos varios tipos de estos lagos (que en la vertiente española se llaman Ibones): Lagos polares de gran altitud, fríos y pobres, en los que durante el verano la temperatura máxima en superficie es de 5°C y la capa de hielo que los cubre permanece durante 10 meses e incluso más; Lagos fríos cuya superficie del agua no supera los 9°C en verano y la capa de hielo dura más de 8 meses, aguas poco mineralizadas y muy limpias (son los más numerosos); Lagos de pradera con temperatura estival en superficie rondando los 12°C y la duración de la persistencia del hielo es de unos 7 meses y Lagos verdes con temperaturas en la superficie del agua de 15°C en verano y la capa de hielo se mantiene sólo 6 meses y medio, además están muy eutrofizados.

Debido a sus características de aislamiento, cada ibón puede considerarse como un ecosistema único donde es posible observar las diversas relaciones entre las diferentes poblaciones de organismos, sus respuestas a los cambios medioambientales, así como la influencia que la actividad humana ejerce sobre los mismos.

Nuestro equipo de trabajo en la Universidad de Vigo (BA1, Laboratorio de Anatomía Animal), Facultad de Biología, Departamento de Ecología y Biología Animal, se ha especializado en estudiar estos lagos desde el punto de vista de los anfibios anuros que los habitan, en particular de la especie *Rana temporaria*.

**La *Rana temporaria*** es un anuro eurosiberiano que sólo coloniza el norte de la Península Ibérica por encima de los 42º N. Presenta un “cluster” en el Alto Aragón occidental, entre los 42º 39’ N/42º 57’ N y los 0º,0’ W/ 0º 45’ W, bien caracterizado genética (2002, Veith et al.), morfológica (1995, Palanca et al.) y etológicamente (2004, Vieites et al.) por nuestro equipo. Las ranas salen del fango o de las cavidades donde han hibernado en cuanto empieza a fundirse la nieve y la temperatura del agua alcanza un valor superior a 6º C. Se produce una migración masiva hacia las charcas de aguas tranquilas (endorreicas generalmente) donde realizan el amplexus y frezan. Estos anfibios sólo cantan debajo del agua de forma natural.

## INFRAESTRUCTURA Y RECURSOS HUMANOS

Con el objetivo de agilizar y optimizar la parte administrativa necesaria en la gestión de recursos e infraestructuras, dimos de alta una fundación en el año 2000, colegiada y sin ánimo de lucro, **Fundación Laboratorio de Anatomía Animal**, dotándola de la suficiente rapidez y eficacia para conseguir un mayor rendimiento de los recursos disponibles. Clasificada como de interés ambiental y declarada de interés gallego la Fundación recibe donaciones y administra la financiación otorgada a los proyectos por los diferentes organismos públicos y privados.

Un **“Club Alpino da Universidade de Vigo”** Inaugurado el 2 de marzo de 1998 (Acta fundacional 4 febrero 98) tiene como objetivos la preparación física y técnica para el estudio del medio ambiente y la colaboración en la logística de los trabajos prácticos de campo coordinados por el Laboratorio de Anatomía Animal. Como Patrono Jurídico de la Fundación Laboratorio de Anatomía Animal colabora con los objetivos de la misma en lo que se refiere a incentivar el conocimiento de los espacios naturales y en crear un banco de datos anatómicos y medioambientales, que contribuyen anualmente a ampliar la dotación fundacional base para la investigación de nuestro equipo.

Entre los **recursos humanos** hemos de contar con las personas físicas que forman el patronato de la fundación, los representantes del patrono jurídico “Club Alpino”, la dirección del proyecto, los alumnos pre y postdoctorales que participan en las actividades investigadoras del equipo de trabajo y los profesores que colaboran eventualmente en la resolución de problemas científicos puntuales.

## INVESTIGACIÓN COORDINADA Y SINCRONIZADA

La correcta **metodología de la investigación** está determinada por el fundamento filosófico de la persona que investiga y por las características de lo que se investiga. En el presente proyecto utilizamos todos los recursos disponibles metodológicamente: la abducción, la deducción y la inducción, a fin de lograr una comprensión integral del tema planteado: la abducción y la deducción para obtener una comprensión conceptual del fenómeno y la inducción para la verificación cuantitativa.

En la etapa de **la abducción** el objetivo es explorar los datos, encontrar patrones de comportamiento y sugerir premisas plausibles. Esta etapa ha sido realizada por los tres doctorandos y el director del equipo durante el año 2013, realizando en julio y agosto los muestreos en el Pirineo y redactando entre todos 6 artículos presentados a la Semana do Campus da Agua 2014 , 17 al 22 de marzo, en el Campus de Orense de la Universidad de Vigo. En torno al tema de estudio “Lagos de origen glaciar” y centrándose en la “*Rana temporaria*” que los habita hemos planteado tres grandes sub-líneas de trabajo basadas respectivamente en : A.- Forma y función, B.- Distribución y C.- Medioambiente. Entre cada línea de trabajo surgen aspectos que abarcan dos líneas contiguas y que son resueltos por los titulares de ambas.

**La deducción** se utiliza para construir hipótesis lógicas y verificables fundadas en las premisas, en anteriores trabajos del equipo y en la bibliografía existente en este momento. En esta etapa, marzo-junio 2014, se plantean las hipótesis que darán personalidad a cada uno de los doctorandos , y se programan los siguientes muestreos de campo que se realizan en Julio y Agosto del 2014.

**La inducción** es la verificación de las hipótesis a fin de asentar tesis o principios nuevos que se presentarán ante un tribunal para optar al grado de doctor, previsiblemente en el año 2016.

## ETAPAS EN LA INVESTIGACIÓN

### Abducción (1 año)

Explorar los datos, encontrar patrones de comportamiento y sugerir premisas plausibles (Exposición en congresos)

### Deducción (1 año)

Construir hipótesis lógicas y verificables fundadas en las premisas. Redactar y leer Memoria de Licenciatura (Una publicación al menos)

### Inducción (2 años)

Verificación de las hipótesis, redacción y lectura de la Tesis (Dos publicaciones al menos)

# TRABAJOS REALIZADOS EN LA ETAPA DE LA ABDUCCIÓN

Semana do Campus da Agua 2014 , 17 al 22 de marzo

**Caracterización del canto inducido en hembras de *Rana temporaria* en los lagos y humedales del Alto Aragón occidental (Pirineo de Huesca, España).**

Restauración y estudio ambiental de un humedal degradado por actividad pecuaria en el Circo de Piedrafita (2.200 msnm), Pirineo aragonés (España).

Poblaciones de *Rana temporaria* en los lagos y humedales del Alto Aragón occidental (Pirineo de Huesca, España)

**Flora de los lagos pirenaicos y su relación con la fauna de anfibios que los habitan.**

**Distribución de *Rana temporaria* (anfibio) en los lagos del Parque Nacional de los Pirineos (Francia)**

Minerales pesados depositados en los neveros de alta montaña pirenaica y su repercusión en los insectos acuáticos

## **TRABAJOS REALIZADOS EN LA ETAPA DE ABDUCCIÓN:**

### **Sub-línea A.- Forma y función.**

**Caracterización del canto inducido en hembras de *Rana temporaria* en los lagos y humedales del Alto Aragón occidental (Pirineo de Huesca, España):** En el presente estudio caracterizamos el canto inducido de *Rana temporaria* hembra del Pirineo. Para ello analizamos 33 parámetros acústicos referentes a 272 bandas de tono vocalizadas por 9 ranas de distintos macizos montañosos, identificando las variables que personalizan el “cluster” altoaragonés y las que personalizan las subpoblaciones.

### **Sub-línea B.- Distribución**

**Distribución de *Rana temporaria* (anfibio) en los lagos del Parque Nacional de los Pirineos (Francia) :** Hemos estudiado detenidamente la relación entre la presencia de ranas adultas o en cualquiera de sus fases de desarrollo y la introducción de alevines de truchas en 215 lagos del Parque Nacional de los Pirineos. En general las truchas no colonizarían por sí solas altitudes superiores a 1.600 m, mientras que la *Rana temporaria* del Pirineo central coloniza la mayor parte de los lagos situados por encima de esta altitud, con un techo máximo de 2.600 m. snm. Al seleccionarse los lagos más grandes y de gran altitud para ser colonizados artificialmente con alevines, se han reducido considerablemente los espacios de reproducción de estos anfibios creándose en la cabecera de numerosos valles barreras que aíslan las poblaciones, ya que los peces se alimentan de los renacuajos sobre todo en ambientes extremos donde escasea otro tipo de alimento.



## **Sub-línea C.- Medioambiente**

**Flora de los lagos pirenaicos y su relación con la fauna de anfibios que los habitan:** Hemos caracterizado cada uno de los 215 lagos estudiados mediante 18 ambientes florísticos definidos por 161 especies vegetales. Estos ambientes en forma de mosaico rodean la masa acuática. Las especies vegetales discriminan con gran éxito los lagos colonizados por *Rana temporaria* de los lagos no colonizados al igual como discriminan también los lagos en los que la rana puede convivir con la trucha, dada la abundancia de flores e insectos florícolas que compensa a los anfibios la pérdida de población por parte de las truchas que los depredan.

### **Trabajos que abarcan dos sub-líneas**

#### **A y B.- Forma y función y Distribución**

#### **Poblaciones de *Rana temporaria* en los lagos y humedales del Alto Aragón occidental (Pirineo de Huesca, España):**

Las poblaciones de *Rana temporaria* que habita el Alto Aragón occidental están sometidas a ambientes extremos de alta montaña pirenaica y a diversos impactos ambientales. Estas condiciones que dificultan un permanente contacto entre ellas originan una incipiente diferenciación que se pone de manifiesto en el presente estudio donde relacionamos la forma del canto inducido en hembras con las secuencias génicas. Nuestras investigaciones evidencian una gran correlación lineal ( $R^2 = 0.936$ , sig.=0,002) entre la matriz de distancias calculada con los cantos y la matriz de distancias genéticas. Este método no invasivo, económico y rápido, nos permitirá calcular en el futuro las barreras ecológicas que fragmentan los hábitats y ponen en peligro a las especies.

## **B y C.- Distribución y Medioambiente:**

### **Minerales pesados depositados en los neveros de alta montaña pirenaica y su repercusión en los insectos acuáticos:**

La presencia de contaminantes en alta montaña se debe a la facilidad con la que pueden acumularse en los neveros después de un largo transporte debido al viento y las nubes. Al fundir la nieve el agua junto con los contaminantes queda retenida en gran parte en los lagos glaciares (Ibones), donde se desarrollan una gran variedad de seres vivos como las larvas de libélula (Insectos odonatos) que viven en los fondos fangosos y a principios del verano se metamorfosean en adultos voladores. La contaminación con minerales pesados como el arsénico, y cadmio detectados en nuestro estudio del valle de Respomuso, situado en el Alto Aragón, puede ser la causa de las frecuentes malformaciones e incluso de la extinción de las libélulas adultas cuyas larvas se desarrollan lentamente en estos ibones, a lo largo de varios años, antes de su metamorfosis.

## **C y A .- Medioambiente y Forma y función:**

**Restauración y estudio ambiental de un humedal degradado por actividad pecuaria en el Circo de Piedrafita (2.200 msnm), Pirineo aragonés (España):** Se trata de un área degradada por haber servido de majada (un lugar de pasto y reposo de ganado) antes de la construcción en sus inmediaciones de un refugio de montaña (Refugio de Respomuso, 2.200 msnm). Debido a la presencia de gran cantidad de ganado ovino el suelo del área mostraba cantidades de materia orgánica y nitrógeno mucho mayores de lo que es habitual en suelos de alta montaña , lo cual provocó la invasión masiva de plantas ruderales nitrófilas, entre las que destaca la romaza (*Rumex alpinus*), propias de menores altitudes y que han desplazado a los componentes del ecosistema local, charcas y humedales incluidos. Aprovechando el interés por el tema de los alumnos de Biología asistentes a los cursos de verano organizados por el Laboratorio de Anatomía Animal, Universidad de Vigo, con base en las instalaciones del mencionado refugio, se restauró una amplia parcela con sus charcas y se monitorizó para estudiar las condiciones térmicas de hibernación de la *Rana temporaria* en ambientes extremos.

# SUB-LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Dirección y  
doctorandos



Fundación y  
Club Alpino



**A - Forma y función**

*Rana temporaria*



C&A

A&B

**C - Medioambiente**

**B - Distribución**

B&C

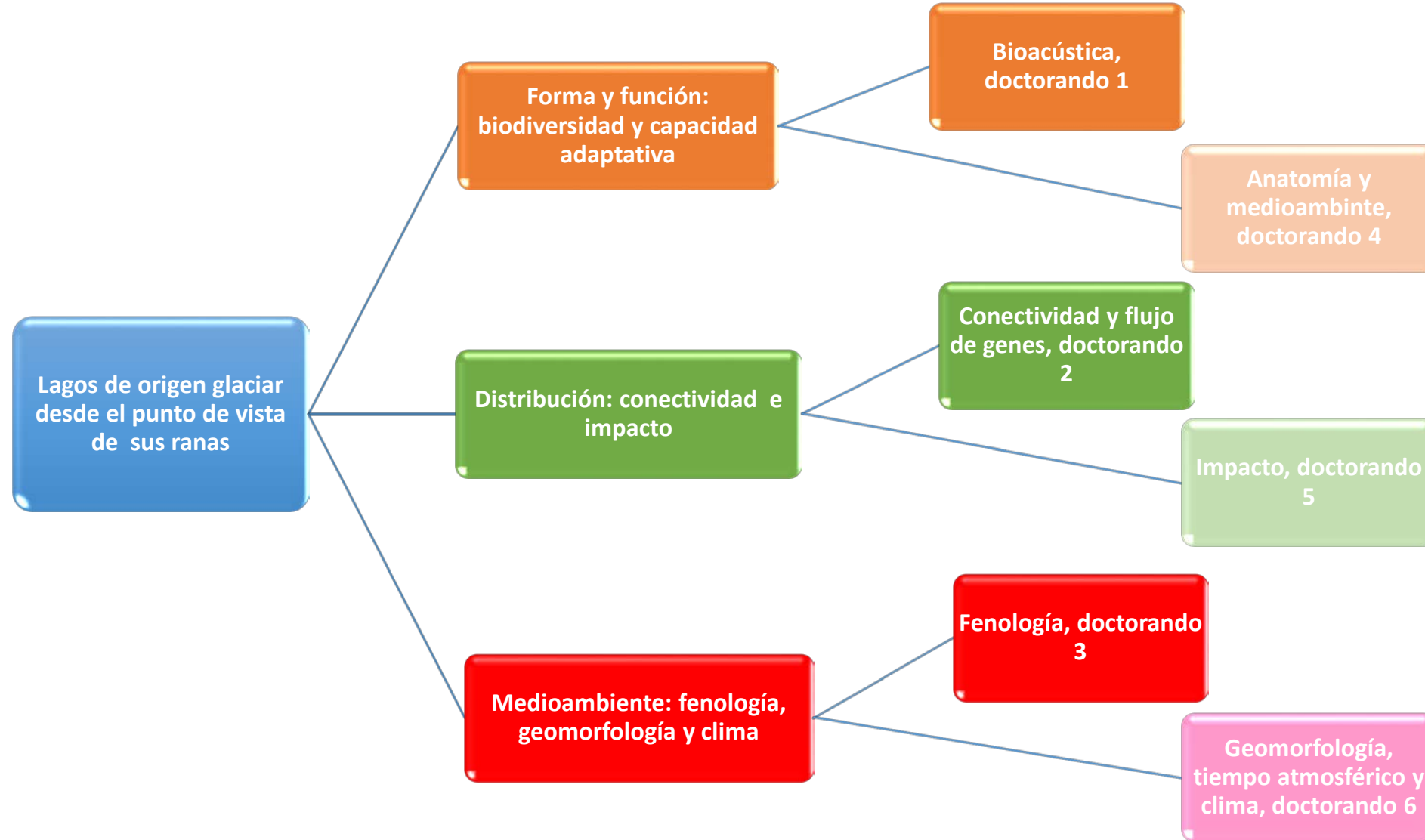
## **HIPÓTESIS y TITULOS DE TESIS. ETAPA DE DEDUCCIÓN.**

Cada una de las sub-líneas puede soportar varios doctorandos pero nuestra experiencia aconseja a mantener uno por sub-línea hasta que sean leídas la tesis correspondientes y quede un hueco para otros que sigan en la mismas sub-líneas. Por otro lado las infraestructuras y la dedicación por parte de la dirección limita el número de tesis complementarias que se sincronizan y complementan. No obstante, en las campañas de muestreo en alta montaña toman datos para facilitar el trabajo a los doctorandos que forman parte del segundo turno.

# TEMAS DE TESIS DOCTORALES

Años 2013 -2016

2016-2019



## **Sub-línea A.- Forma y función.**

Los biomas de montaña se caracterizan por presentar una zonación altitudinal y numerosos “nichos” microclimáticos en los que se genera una rica pero frágil **biodiversidad**, proporcionando nuevas oportunidades colonizadoras a especies con gran **capacidad adaptativa** a ambientes difíciles y creando, por tanto, una reserva genética irremplazable. Las condiciones ambientales y ecológicas de éstos hábitats, sufren fuertes cambios estacionales y, a menudo, experimentan alteraciones extremas impredecibles. Las asociaciones de plantas y animales de áreas de gran altitud han sido generalmente menos alteradas que las de tierras bajas, no obstante para muchas especies en peligro (como muchas especies de anfibios), la destrucción del hábitat, la sobrexplotación y el cambio climático global son una seria amenaza para su supervivencia a corto y largo plazo.

Temas:

- **Bioacústica. (A-1)**
- Anatomía y medioambiente (A-2).

Biologically, mountain bioms are characterized by altitudinal zonation and microclimatic "niches" generating a rich but fragile **biodiversity**, provide new opportunities for species with high **adaptative capacity** to the high altitudes rugged physiography and therefore and irreplaceable genetic reserve. Plants and animals associations of high altitude areas have generally been disturbed less than those of their lowland equivalents but they are much more fragile than the last. For many endangered species, habitat destruction as well as the global climatic change is as serious a threat to long-term survival as is over-exploitation. Pressures to diversify in a high-hazard, fragile mountain environment are great, and many mountain communities utilize a variety environment niches up and down mountain slopes.

## A-1 Tema Bioacústica:

Los Anfibios Anuros son los únicos cordados que dependen únicamente de la comunicación acústica para atraer a sus compañeras, anunciar la propiedad de su territorio o para comunicarse con otros individuos de su especie. El mecanismo de producción de sonido en la mayoría de las ranas macho también es único ya que los músculos del tronco implicados en forzar el aire fuera de los pulmones hacia los sacos vocales no son usados para la respiración normal (2007, Peter et al.), no obstante hay ranas (*Rana catesbeiana*) cuyo canto es producido por las grandes membranas timpánicas (2001, Narins et al.) y algunos grupos de especies (*Pipidae* de Sudamérica y África) cantan debajo del agua sin necesidad de forzar la salida de aire (2004, Kelley). Las hembras, aunque carecen de sacos vocales, cantan en respuesta a los machos (1999, Emerson y Boyd).

Muchas características del canto de anuros pueden haber sido modeladas por la selección sexual, incluyendo la intensidad de llamada, la duración, la nota y el modelo temporal de interacción entre machos, además de toda la maquinaria morfológica, fisiológica, y bioquímica implicada en la producción del mismo. Estudios recientes han demostrado que las ranas pueden desarrollar dialectos locales modificando los atributos espectrales y/o temporales de las vocalizaciones en respuesta a la presión de la selección ante sonidos ambientales incluidos los antropogénicos.

La transmisión del canto es afectada por varios factores físicos del medio y los sonidos son deformados tanto en sus características espectrales como en las temporales. En general, las señales de frecuencia más alta son atenuadas con más severidad, al chocar con objetos de pequeño tamaño, que las señales de frecuencia inferior.



Por otro lado, la pérdida de amplitud durante la propagación del sonido tiene como consecuencia la pérdida de las señales más débiles ya que estas caen por debajo del umbral de detección del receptor. Igualmente puede suceder que un receptor oiga sonidos que llegan directamente junto a otros que han seguido un camino indirecto, ecos y reverberaciones, que crean retrasos y oscurecen los intervalos silenciosos entre las notas. No obstante, como los cantos tienen la energía concentrada en varias bandas de frecuencia estrechas, armónicos, las distorsiones espectrales no son tan profundas como en otros sonidos bióticos y, a su vez, la repetición de los pulsos, frecuente en el canto, es muy adecuada para transmitir la identidad de la señal (2007, Peter et al.).

Existe además el ruido abiótico de las cascadas o las corrientes rápidas de agua cuyo sonido interfiere con el canto ya que generalmente tiene una amplitud de 70 dB y una gama de frecuencias entre 50 Hz y 4000 Hz con la energía máxima cerca de los 100 Hz (2004, Narins et al.).

## **Tesis 1.- *Rana temporaria* (L.1758) en el Pirineo Central: Canto y distribución geográfica.**

1.-Ambito estudiado .....

2.-Introducción sub-línea .....

3.-Introducción al tema.....

### 4.- Métodos

A los especímenes de *Rana temporaria* se les induce el canto mediante una ligera presión de la mano sobre la parte anterior del cuerpo, registrándose el mismo con una grabadora digital (Sony dat TCD-D8) y un micrófono direccional (AKG C568EB) colocado a una distancia de 10 cm. Se identifica el sexo y se mide su longitud del rostro a cloaca (SVL) y su peso.

Para el análisis acústico se selecciona manualmente, por cada canto muestreado, bandas de tono (“notas”) libres de interferencias eventuales. Cada una de las 272 notas obtenidas se caracterizan mediante 33 parámetros acústicos, utilizando el software SoundRuler (2003-2007, Gridi-Papp). Estos parámetros hacen referencia a la amplitud, energía y frecuencia.

Mediante un análisis de componentes principales asignamos todos los parámetros a 8 componentes de los que los 6 primeros explican el 75% de la varianza. Seleccionamos como variables para los siguientes procesos los parámetros mejor correlacionados con cada uno de los 6 primeros componentes. La variable correspondiente al primer componente (que explica el 26% de la varianza) la escalamos en 5 intervalos tomando percentiles iguales que engloban el 20% de los casos cada uno. Tomando como variable de agrupación la variable escalada, a la que hemos asignado a cada uno de los intervalos un número correlativo (de 1 a 5) como valor y una letra (A, B, C, D y E) como etiqueta y como variables independientes las 6 variables seleccionadas anteriormente, hacemos un análisis discriminante usando matriz de covarianzas intra-grupos y guardando en nueva variable el grupo de pertenencia pronosticado para cada uno de los valores de agrupación y las puntuaciones discriminantes.

Observando los gráficos de grupos combinados correspondientes a los valores de las puntuaciones discriminantes de las funciones 1 y 2, simplificamos los valores de la variable de agrupación (en nuestro estudio los reducimos a 4: A, B, C y D). Repetimos varias veces el análisis utilizando los grupos de pertenencia pronosticados como nuevas variables de agrupación hasta que el estadístico Lambda de Wilks que contrasta todas las funciones del discriminante quede constante. Podemos anular datos que difieran significativamente de todos los valores

A continuación estudiamos detalladamente las variables mejor correlacionadas (más del 75%) con los componentes que caracterizan al “cluster” y las variables mejor correlacionadas con las funciones discriminantes que caracterizan las distintas notas, valores de agrupación (A, B, C y D), cuya distribución en el canto personaliza las subpoblaciones Pirenaico-occidentales (altoaragonesas).

Por otro lado obtenemos una matriz reducida donde consideraremos cada ejemplar como nuevo dato, siendo las variables los valores de agrupación (A, B, C y D) a los que consideramos notas del canto. A partir de esta matriz clasificamos los individuos o las localidades que integran éstos en conglomerados jerárquicos guardando la matriz de distancias euclídeas que compararemos con la matriz de distancias genéticas, tomadas de un trabajo anterior de nuestro equipo (2002.- Veith), mediante grafos y regresiones lineales.



5.- Investigación coordinada y sincronizada.....

6.- Primeros resultados (fase de abducción):

Para esta fase inicial de la investigación se utilizaron solamente los cantos de hembras de las localidades :  
Aguas Tuertas ( $42^{\circ}49'N/0^{\circ}35'W$ ), 2 hembras, Canal Roya - Anayet ( $42^{\circ}46'N/0^{\circ}26'W$ ) 2 hembras, Respomuso ( $42^{\circ}49'N/0^{\circ}17'W$ ) 1 hembra y Barranco de Ordiso ( $42^{\circ}43'N/0^{\circ}9'W$ ) 4 hembras.

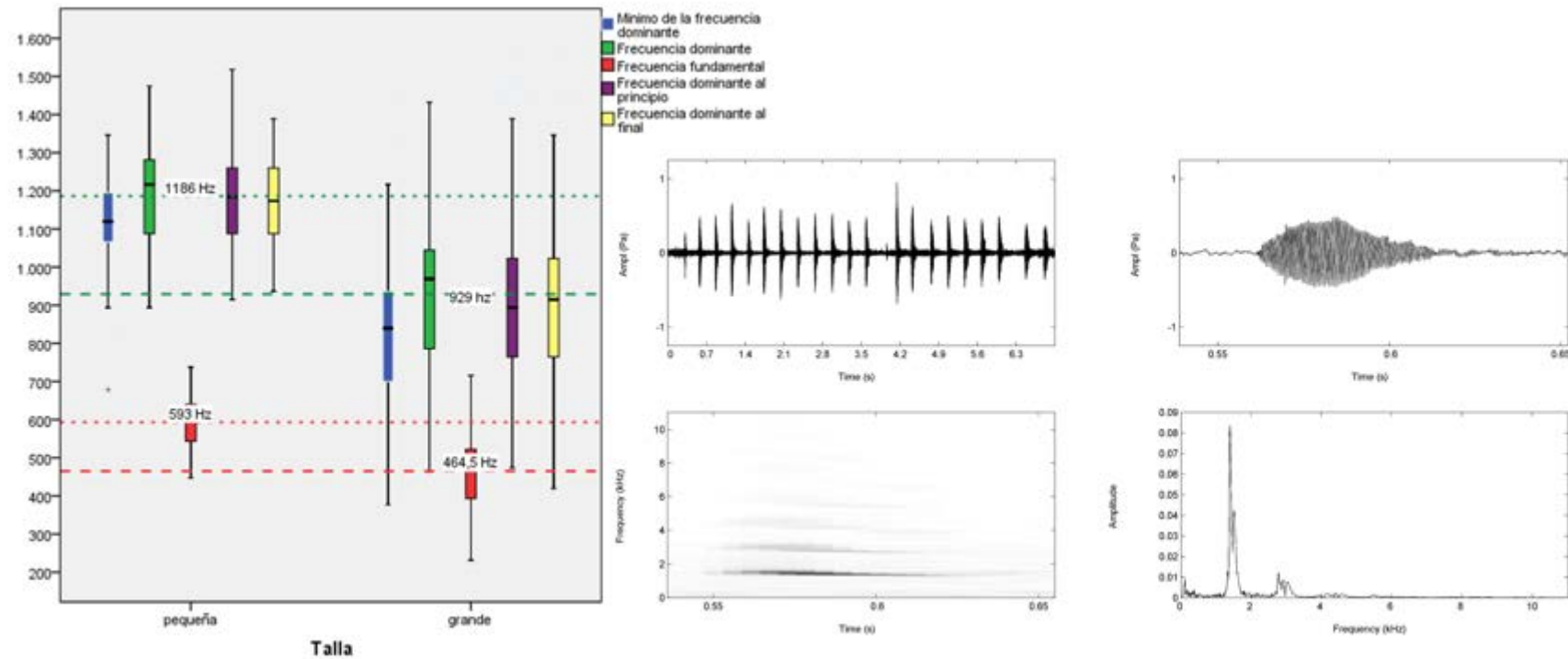


Figura 1.- A la izquierda están representadas las variables referentes a las frecuencias que caracterizan al “cluster” altoaragonés de *Rana temporaria* hembras de talla pequeña (< 8 cm SVL) y talla grande, indicando en líneas discontinuas el valor de la frecuencia fundamental y su primer armónico (frecuencia dominante). A la derecha representamos oscilogramas, sonograma (con 4 armónicos) y espectrograma pertenecientes a una banda de tono “nota” mas repetida en los cantos de las hembras.

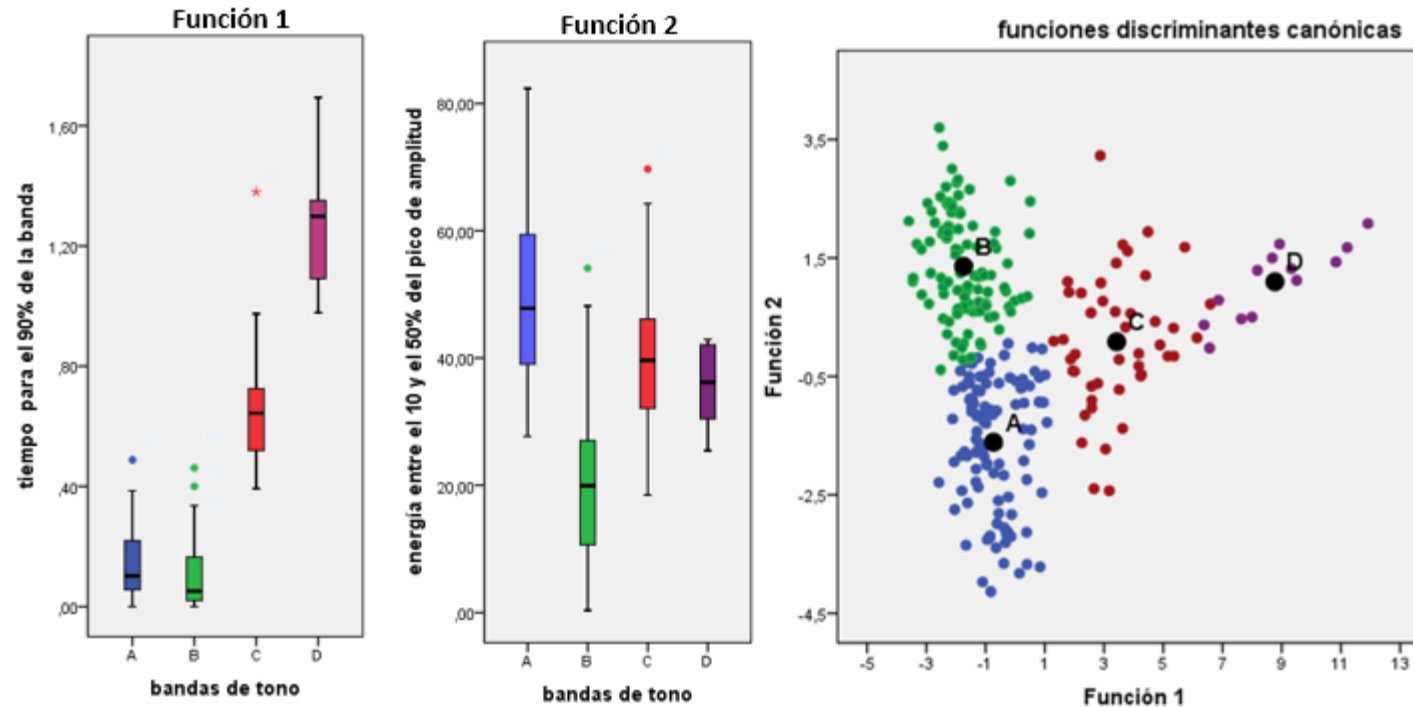


Figura 2.- Variables mejor correlacionadas con las funciones discriminantes que caracterizan las distintas bandas de tono “notas” en hembras, valores de agrupación (A, B, C y D) identificados por el tiempo y la amplitud, cuya distribución en el canto personaliza las subpoblaciones altoaragonesas de Rana temporaria hembra.

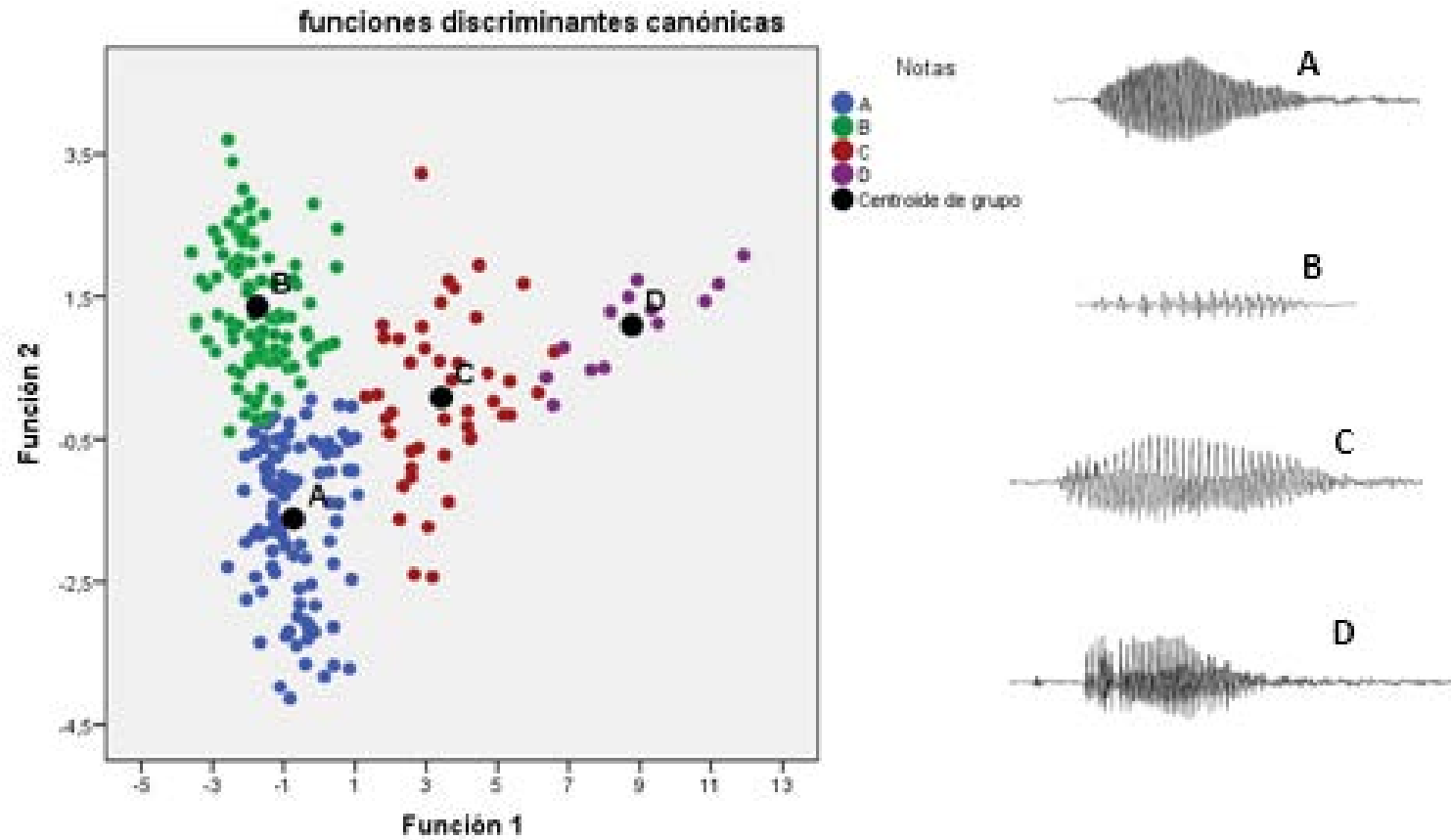


Figura 3.- Clasificación de los datos obtenidos del canto inducido en ejemplares de *Rana temporaria* hembras del Alto Aragón occidental e imagen de la amplitud de las notas correspondientes a los centroides de grupo.

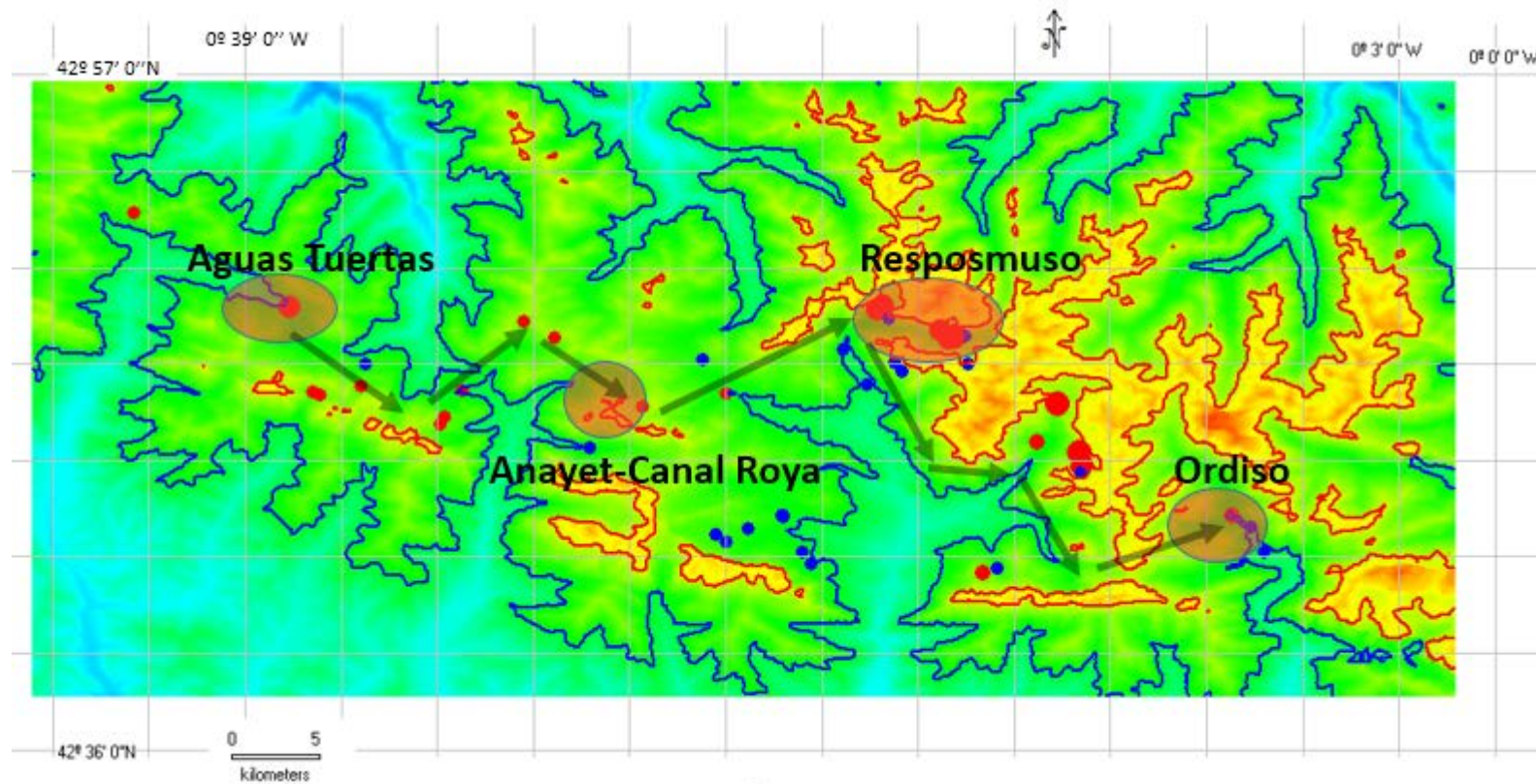


Figura 4.- Mapa de altitudes del Alto Aragón occidental y la vertiente francesa (al norte) en el que se indican con círculos los lagos muestreados: en los círculos rojos se confirmó la presencia de ranas. Se rotulan las cuatro localidades en las que se muestreó el canto y se obtuvo material para el posterior análisis genético. En azul se representan las cotas de 1.600 m de altitud y en rojo las de 2.400 m definiendo ambas el hábitat de la *Rana temporaria* en el Pirineo occidental (2003, Vences et al.). Con flechas negras especulamos las posibles comunicaciones entre las poblaciones de ranas estudiadas (ver figura 5).



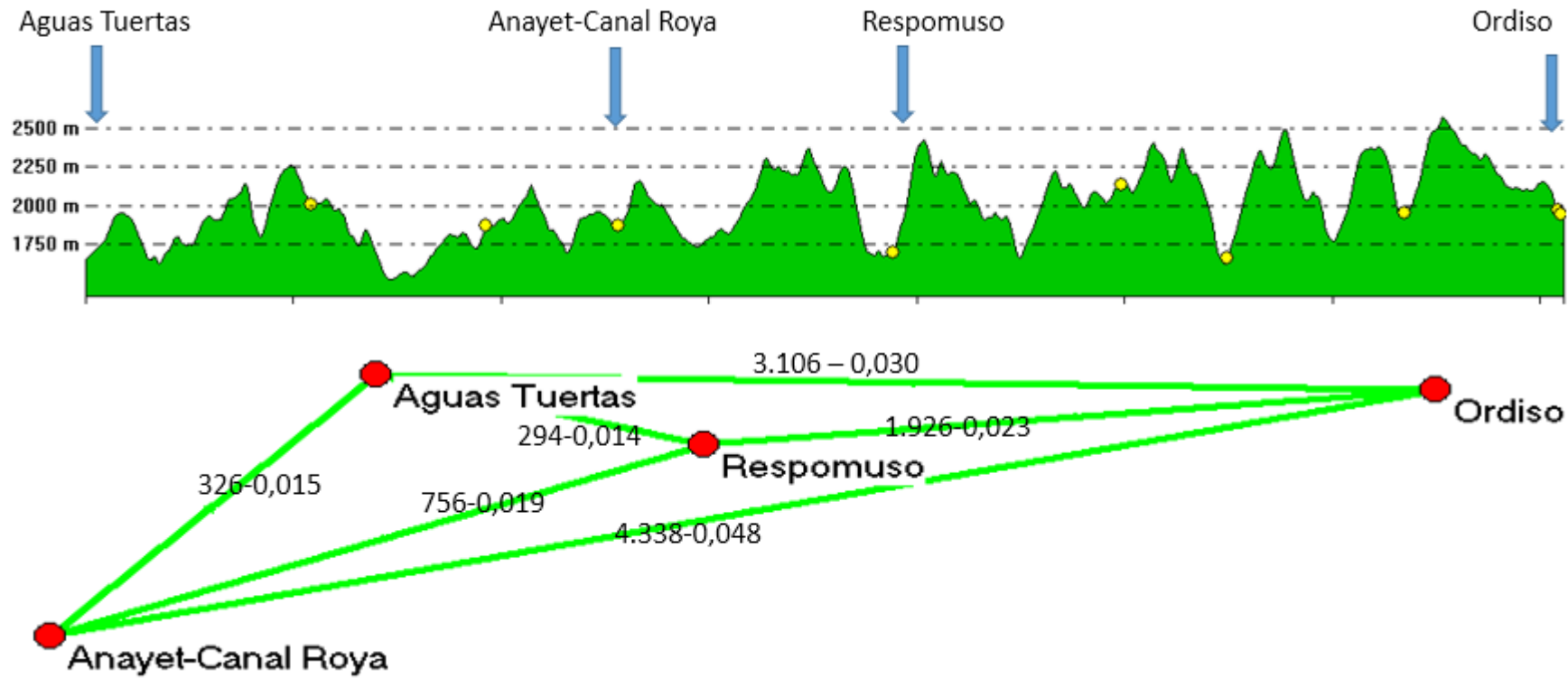
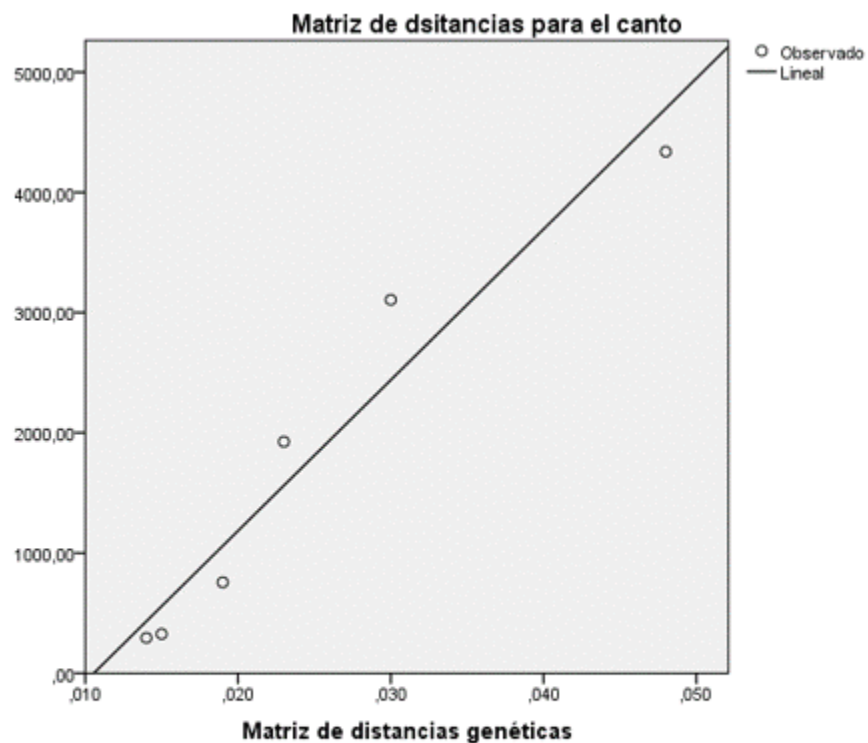


Figura 5.- Perfil de las posibles comunicaciones entre las poblaciones de ranas estudiadas (ver figura 4). Grafo en el que están indicadas sobre los vectores los valores de las distancias considerando el canto (primer término) y las distancias genéticas (segundo término).



Ecuación	Resumen del modelo					parámetros	
	R cuadrado	F	gl1	gl2	Sig.	Constante	b1
Lineal	.936	58.850	1	4	.002	-1324.103	125440.376

Figura 6.- Gráfico con la línea de regresión calculada con los valores de la matriz de distancias del canto y la matriz de distancias genéticas. Se adjunta tabla de estadísticos.

El canto inducido de la *Rana temporaria* hembra madura (tamaño superior a 8 cm. SVL) del “cluster” altoaragonés se caracteriza (figura 1) por su frecuencia fundamental 464,5 Hz y sus cuatro armónicos, siendo el primero de ellos la frecuencia dominante (929 Hz). La modulación, fluctuación del sonido en relación a su amplitud, puede personalizar las subpoblaciones (figura 2).

7.- Hipótesis planteadas (fase de deducción): Los cantos inducidos en machos y hembras de *Rana temporaria* personalizan las sub-poblaciones, de la misma forma que lo hacen los análisis genéticos, y por ello pueden ser buenos indicadores de la distribución geográfica actual. Las distancias entre cantos nos indican las distancias reales que tendrían que recorrer las ranas de una población (Respomuso por ejemplo) para ponerse en contacto con otra (Ordiso) y esta característica puede definirnos las barreras geográficas naturales y artificiales o las barreras ecológicas que pueden aislar excesivamente a núcleos enteros de ranas y llevarlos a la posible extinción. Con este método no invasivo, económico y rápido podemos ayudar a entender y, seguramente, arbitrar soluciones para parar el descenso progresivo de la abundancia de éste anfibio.

## **A-2 Tema: Anatomía y medioambiente :**

El área de estudio está situada entre los 2.100 m y los 3.500 m de altitud, en el Pirineo central y junto al embalse de Respomuso, sobre la zona de contacto entre las rocas graníticas del antiguo batolito que originó el plegamiento hercínico y las metamórficas, resto de la antigua morfología superficial erosionada principalmente por glaciares. En este punto de la cordillera se alternan irregularmente las influencias atlántica, mediterránea y continental, produciendo inestabilidades climáticas que, unidas a la propia dinámica del topoclima de montaña, crean ambientes extremos que plantean una gran dificultad a la flora y fauna para adaptarse a estos medios ya de por sí difíciles y agresivos.

Pertenece al municipio de Sallent de Gállego y las aguas de sus glaciares y arroyos siguen su curso hacia el sur de la cordillera llegando hasta el Ebro y los regadíos de Los Monegros. Se encuentra dentro de la Reserva de la Biosfera Ordesa-Viñamala y de la Zona Periférica de Protección de los Monumentos Nacionales de los Glaciares Pirenaicos que concierne a los glaciares situados al pie del Balaitous (3.146 m).

Rodeado de altas cumbres que sobrepasan los 3000 m de altitud posibilita el fácil y rápido acceso a interesantes ambientes típicos del nivel subalpino (bosques de pino negro), alpinizado (pastos que han invadido la antigua área potencial de bosques de pino negro) y alpinos (grandes altitudes).

Los vientos dominantes superficiales pueden determinar la distribución espacial de elementos depositados. Los flujos de viento más frecuentes (28%) vienen del Oeste y del Nor-Oeste (el 24 %), provocando precipitaciones el 60 % de los días (Creus-Novau 1983). Debido a la configuración orográfica ambos vientos dominantes entran en el valle aproximadamente en la misma dirección.

Se muestreó durante el verano la nieve de neveros y los sedimentos situados en los desagües de los neveros estudiados y los del fondo de dos charcas de tamaño medio (540 m<sup>2</sup>), situadas junto al antiguo refugio (42° 49' N, 0° 17' W, a 2.200 m snm) y cuya agua depende únicamente de la nieve que las cubre en invierno, en las que durante 15 días se inventariaron todas las libélulas de la especie (*Aeshna juncea*), en los primeros momentos del abandono de la exuvia del último estado larvario, observando su anatomía y la capacidad de vuelo del adulto. Estas charcas se caracterizan por la presencia masiva de larvas de esta especie a diferencia del resto de los ibones y charcas del área estudiada.

Los muestreos de la nieve se realizarán en tres grandes áreas, correspondientes a tres circos glaciares, con acumulaciones de nieve (neveros y glaciares) situadas alrededor de los 2.900 a 3500 m snm. Se tomaron un total de 28 muestras duplicando las de superficie con las de 20 cm de profundidad: A.- Área de Llena Cantal-Tebarray (42° 47' N, 0° 15' W); B.-Área de Balaitous (42° 50' N, 0° 17' W) y C.- Área de la Gran Facha (42° 48' N, 0° 14' W).

Las muestras de nieve y sedimentos fueron analizadas mediante espectrofotometría de masas (ICP-MS y ICP\_AES) en las instalaciones del “*Centro de Apoyo Científico-Tecnológico á Investigación*” de la Universidad de Vigo. Los sedimentos fueron tratados por el procedimiento recomendado por el ministerio del medio ambiente estadounidense (método 3050B, US EPA, 1999).

Durante los quince días en los que tuvo lugar la mayor parte de la muda imaginal de las libélulas *Aeshna juncea* inventariamos y marcamos 64 ejemplares de los que un 39% tenían fuertes malformaciones, en ojos y alas principalmente, que les impedían volar y llevar una actividad normal. La deposición atmosférica de agentes contaminantes del aire pueden añadir una carga significativa de elementos traza transportados por agua y nieve en los lagos de altitud (Halstead et al., 2000) y en los sedimentos (Han et al. 2007), dañando potencialmente el estado ecológico de las áreas altimontanas debido a la persistencia y toxicidad de estos agentes (Yuan et al., 2004). La presencia de metales pesados en el área de estudio ya ha sido confirmada por nuestro equipo en anteriores estudios (Lavilla et al., 2006; Zaharescu et al., 2009).

Tabla 1.- Resultados más significativos del análisis de las muestras. Indicando la escala de calidad utilizada por la agencia de protección del medio ambiente de EU (SQG, 1999): ERL límite inferior que representa el 10% de los efectos dañinos (x =>) y ERM límite inferior que representa el 50% de los efectos dañinos (xx =>).

Área	Muestra de nieve Superficie = a Profundidad = b	Muestra de sedimentos	As ug/L ERL = 8.2 ERM = 70		Cd ug/L 1,2 ERL = 1.2 ERM = 9.6	
A.- Llena Cantal- Tebarray	1a		13.0	x	0.5	
	4a		3.2		1.2	x
		1	135.6	xx	3.2	x
		2	161.2	xx	3.2	x
		3	104.8	xx	2.5	x
B.-Balaitous	6a 2		2.8		0.7	
	9a		3.4		0.4	
		4	37.0	x	1.7	x
		5	23.6	x	1.4	x
		6	22.8	x	1.3	x
C.- La Gran Facha	11a		15.7	x	0.3	
	12a 1		3.3		0.3	
	14a 2		9.5	x	0.7	
		7	27.4	x	2.1	x
		8	21.7	x	1.6	x
		9	46.2	x	1.8	x
Charcas con libélulas		10	2.4		1.2	x
		11	13.6	x	1.2	x
		12	7.3		1.2	x

El As está clasificado como cancerígeno (USEPA, 1999) y considerado como sustancia peligrosa por la CE (directiva 76/464/EEC). El cadmio es un metal tóxico, ecológicamente importante, con una vida larga en el medio y asociado con la deposición atmosférica (Hermanson y Brozowski, 2005). Ambos metales pesados están peligrosamente presentes en la superficie de los neveros y se acumulan y concentran en los sedimentos del drenaje de estos valles (tabla 1). La acumulación de minerales traza en los sedimentos es proporcional a la superficie de los neveros instalados en el circo glaciar y la masa de nieve de los neveros (grandes extensiones de nieve que funde en su mayor parte a finales de verano) está altamente relacionada con la dirección del viento y la altitud (figura 1).

Las charcas estudiadas está en un llano en medio del valle y el único aporte de agua es de la nieve que las cubre en invierno y de pequeños neveros de primavera, por lo que sus sedimentos tienen menos carga de elementos traza, lo que permite sobrevivir a un 60% de las libélulas que no consiguen colonizar otras superficies mas contaminadas. Podemos considerar a *Aeshna juncea* un buen bioindicador de la presencia de minerales pesados. En estas mismas charcas tiene lugar la reproducción masiva de *Rana temporaria* estudiada por nuestro equipo (Vieites et al., 2004).

Durante las últimas décadas los anfibios han sufrido un grave declive de sus poblaciones parece ser debido al incremento de la radiación ultravioleta (muy alta de por si en alta montaña) y la contaminación ambiental. En casos de una fuerte exposición al factor extresante los efectos son letales especialmente en las fases embrionaria y larvaria, produciendo cambios en la anatomía y comportamiento de adultos (2003, Marco).

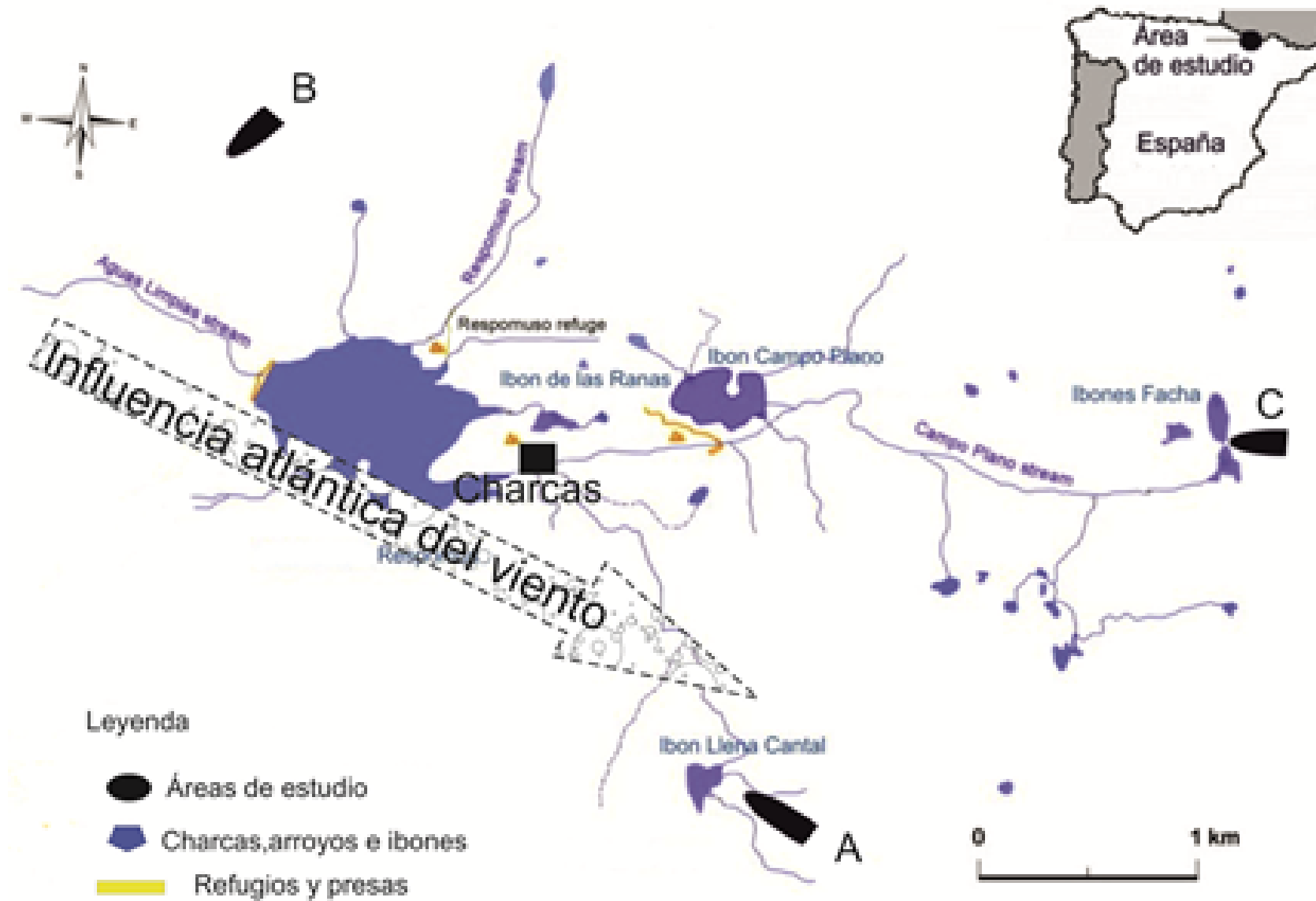


Figura 1.- Valle de Respomuso, áreas de estudio y dirección del viento



## Sub-linea B.- Distribución.

Las condiciones ambientales y ecológicas de los hábitats de las montañas, de naturaleza fragmentados, sufren fuertes cambios estacionales y, a menudo, experimentan alteraciones extremas impredecibles. Para sobrevivir muchas especies tienen que desplazarse por los niveles alpinos y migrar ladera abajo en invierno para escapar de condiciones adversas. Asimismo, especies de baja altitud migran ladera arriba después de la época de cría para alcanzar los recursos abundantes que ofrecen los hábitats de alta montaña durante el verano y el otoño.

La capacidad de movimiento y las rutas de **conectividad** son rasgos críticos para la persistencia de poblaciones autóctonas. La mayoría de las especies de montaña se encuentran en poblaciones semiaisladas que están en riesgo de extinción cuando la conectividad en el **flujo de genes** falla y aumenta la tasa de endogamia.

Los paisajes de montaña soportan interferencias humanas cuya intensidad ha ido cambiando con el paso del tiempo: prospecciones, minería, granjas, presas, polución aérea, desarrollo turístico, uso de la tierra, explotación de una gran cantidad de nichos ecológicos, etc. Estas actividades provocan **impactos** que ponen en peligro la cantidad y calidad de los recursos disponibles de la montaña: alteran la cobertura vegetal, la distribución de las especies, modifican la superficie topográfica, alteran las capas del suelo, mueven grandes cantidades de roca y suelo, desvían los flujos de agua, etc.

Temas:

- **Flujo de genes y conectividad (B-1).**
- Distribución e impacto (B-2).

Mountain habitats are inherently patchy, show strong seasonal changes in environmental and ecological conditions, and often experience unpredictable episodes of severe weather. To persist, many species are required to move between alpine patches, and migrate downslope in winter to escape harsh conditions. As well, lower elevation species migrate upslope after breeding because mountain habitats offer abundant food resources in late summer and autumn.

Movement abilities and **connectivity** routes are critical traits for persistence of mountain wildlife populations. Most mountain species exist in semiisolated populations that are at risk of extinction due to inbreeding if **genes flow** through connectivity fails. Mountain areas are to be managed with particular attention to upstream/downstream connections, hillslope/channel connections, process domains, physical and ecological roles of disturbance, and stream resilience.

The mountain landscapes bear a long record of human direct and indirect pervasive interference, which has involved various activities, including prospecting and mining, land use and the exploitation of highly variable and complex ecological niches through farming, rivers damming, airborne pollution, development of tourism, and whose intensity was changing through time. These activities alter vegetation cover and species distributions; alter surface topography and disrupt soil layers; move large quantities of rock and soil; re-route surface and subsurface water flows among other **impacts** which in turn compromise the quantity and quality of available mountain resources.

## **B-1 Tema: Flujo de genes y conectividad**

El grado en que las poblaciones se autoabastecen de nuevos individuos o intercambian individuos con otras poblaciones tiene consecuencias para su regulación y resiliencia (capacidad para adaptarse a un entorno fluctuante); constituyendo un paso fundamental para el desarrollo de estrategias de conservación de las especies y para el diseño de reservas dentro de paisajes degradados y fragmentados (2001, Botsford **et al.**). Desentrañar los procesos que conducen a la conectividad entre poblaciones está vinculado al conocimiento de las características biológicas de las especies, tales como el éxito reproductivo, el potencial de dispersión en cualquier fase del ciclo de vida y las variaciones demográficas de las poblaciones, así como los factores abióticos que pueden afectar a la dispersión de las especies (corrientes de agua y barreras al flujo génico). Dado que, en general, las rutas y distancias de dispersión de las larvas son difíciles de estudiar a través de metodologías de seguimiento activo, las herramientas moleculares proporcionan un instrumento ideal como evaluación indirecta de la dispersión de estas especies y la conectividad entre poblaciones (2009, Cowen y Sponaugle). Los marcadores moleculares permiten la obtención de información a diferentes niveles: sobre la estructura de las poblaciones, el flujo génico entre estas y las relaciones de parentesco entre individuos y patrones históricos de biogeografía (2009, Godoy).

## **Tesis 2.- *Rana temporaria* (L.1758) en el Pirineo Central: Genética de poblaciones y conectividad.**

- 1.-Ambito estudiado .....
- 2.-Introducción sub-línea .....
- 3.-Introducción al tema.....
- 4.- Metodología

Los especímenes de *Rana temporaria* fueron capturados en varias localidades del Alto Aragón occidental, Se observó el sexo y se midió su longitud del rostro a cloaca (SVL) y una selección de individuos de cada localidad, previo permisos adecuados de las autoridades de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón, fueron sacrificados con clorobutanol y conservados en etanol de 95° para su posterior estudio genético por miembros del equipo del Laboratorio de Anatomía Animal para realizar un estudio taxonómico (2002.- Veith).

Piezas del músculo e hígado fueron homogeneizados en Pgm tampón (1993, Hebert & Beaton). La electroforesis se llevó a cabo en acetato de celulosa (CA) placas de Helena Diagnostics, Texas. Se utilizó cuatro sistemas tampón diferentes para la separación de alozimas: fosfato tampón, pH 7.2 (PP 7.2); tris-maleico tampón, pH 7.0 (TM 7.0); tris-citríco tampón, pH 7.2 (TC 7.2); tris-glicina tampón, pH 8.5 (TG 8.5). Veinte sistemas enzimáticos proporcionaron datos sobre 24 presuntos loci de genes. Las frecuencias alélicas y estimaciones de población de la variabilidad genética fueron calculadas usando G-STAT (1997, Sigismund). Para calcular las distancias genéticas estándar utilizamos el método de Nei (1972).

- 5.- Investigación coordinada y sincronizada.....

6.- Primeros resultados (fase de abducción):

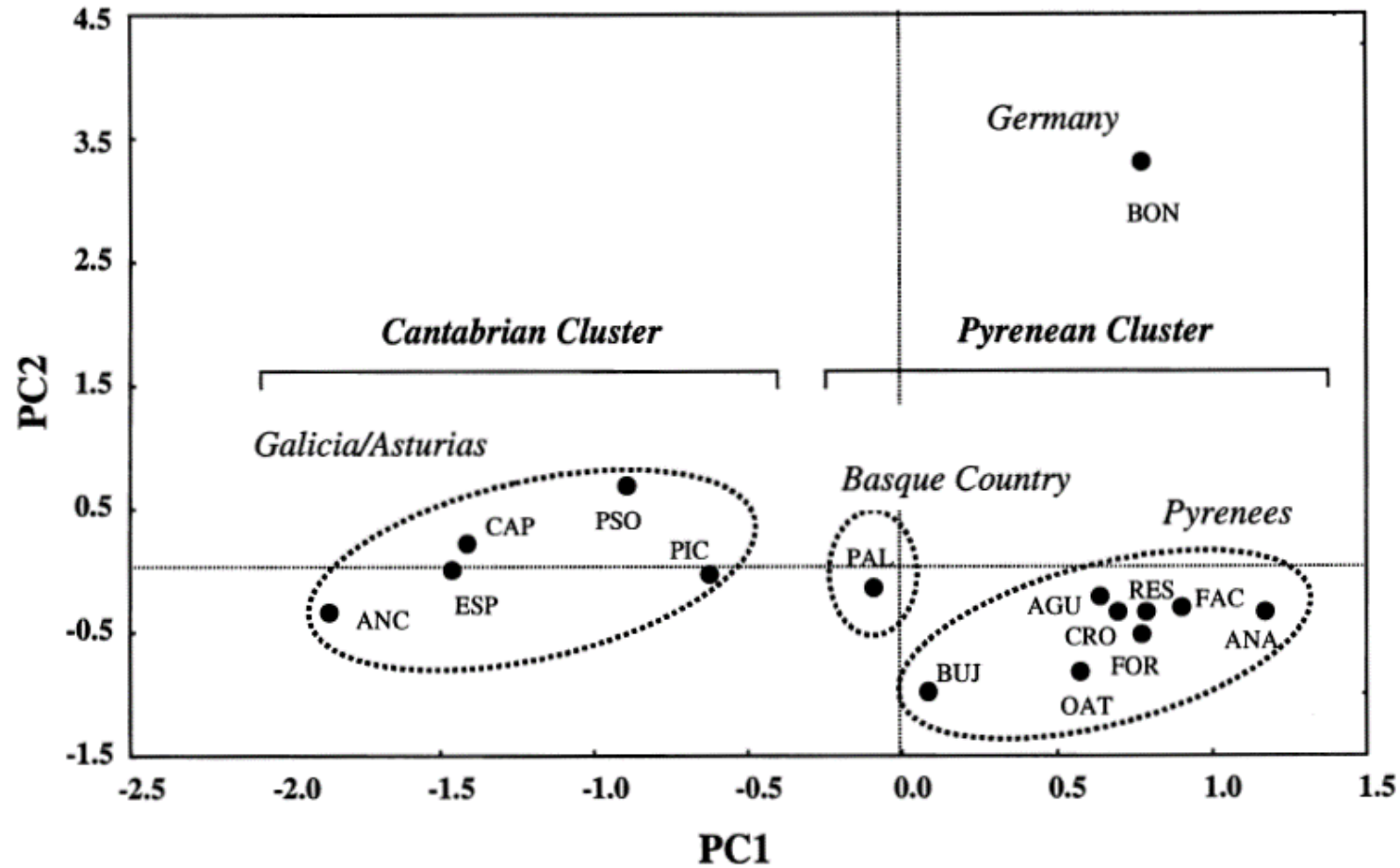


Figura 1.- Diagrama de los dos primeros componentes principales de la varianza genética de muestras de *Rana temporaria*, resultados de anteriores investigaciones de nuestro equipo (202.-Veith et al.). El sub-cluster Pyrenees corresponde a nuestra área de estudio y está bien caracterizado genética (2002,Veith et al.), morfológica (1995, Palanca et al.) y etológicamente (2004,Vieites et al.).

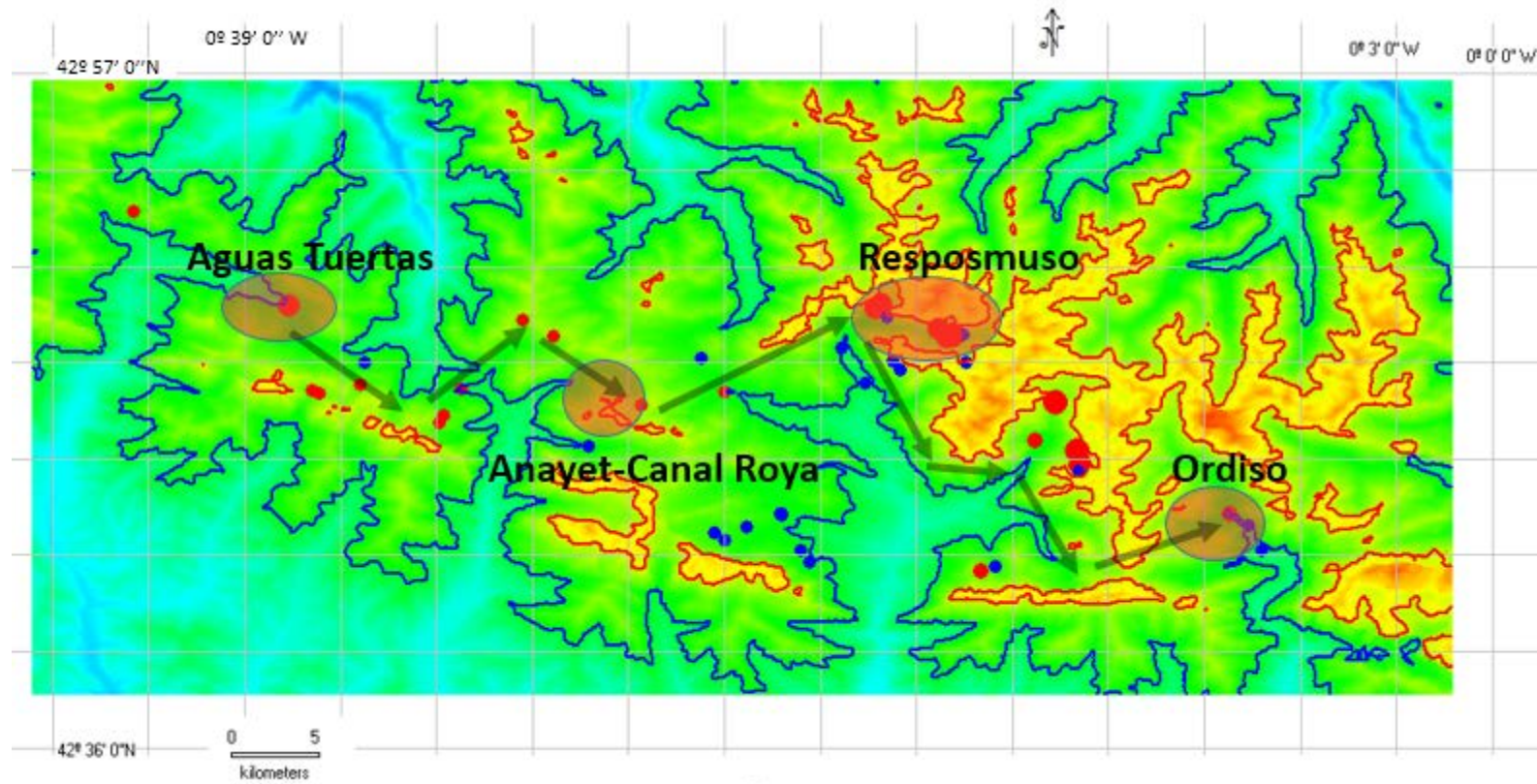


Figura 2.- Mapa de altitudes del Alto Aragón occidental y la vertiente francesa (al norte) en el que se indican con círculos los lagos muestreados: en los círculos rojos se confirmó la presencia de ranas. Se rotulan las cuatro localidades en las que se obtuvo material para el posterior análisis genético. En azul se representan las cotas de 1.600 m de altitud y en rojo las de 2.400 m definiendo ambas el hábitat de la *Rana temporaria* en el Pirineo occidental (2003, Vences et al.). Con flechas negras especulamos las posibles comunicaciones entre las poblaciones de ranas estudiadas (ver figura 2).

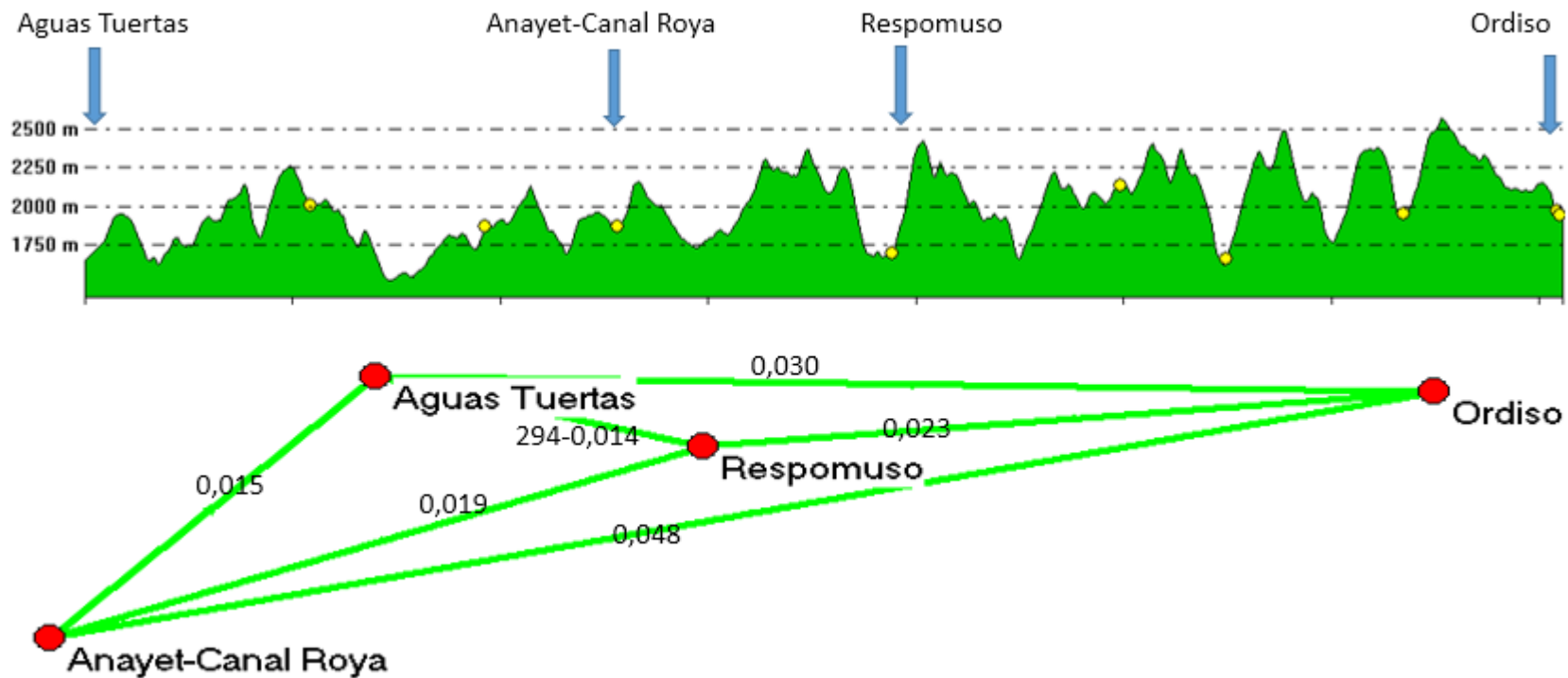


Figura 3.- Perfil de las posibles comunicaciones entre las poblaciones de ranas estudiadas (ver figura 2). Grafo en el que están indicadas sobre los vectores los valores de las distancias considerando las distancias genéticas.

## 7.- Hipótesis planteadas (fase de deducción):

Las distancias genéticas nos indican las distancias reales que tendrían que recorrer las ranas de una población (Respomuso por ejemplo) para ponerse en contacto con otra (Ordiso) y esta característica puede definirnos las barreras geográficas naturales y artificiales, que pueden aislar excesivamente a núcleos enteros de ranas y llevarlos a la posible extinción, y las rutas y distancias de dispersión de los renacuajos.



## B-2 Tema: Distribución e impacto

Se muestreó durante los veranos del 2001 y 2002 en 215 charcas y lagos glaciares (ibones) observando la presencia o ausencia de *Rana temporaria*. Se tomaron otros datos como la superficie de la lámina de agua (mediante prismáticos laser), geomorfología y flora. También se fotografiaron todos los ibones y charcas para obtener datos paisajísticos. Por otro lado la Dirección del Parque Nacional nos facilitó la lista de todos los lagos en los que se han introducido alevines de trucha en los años anteriores

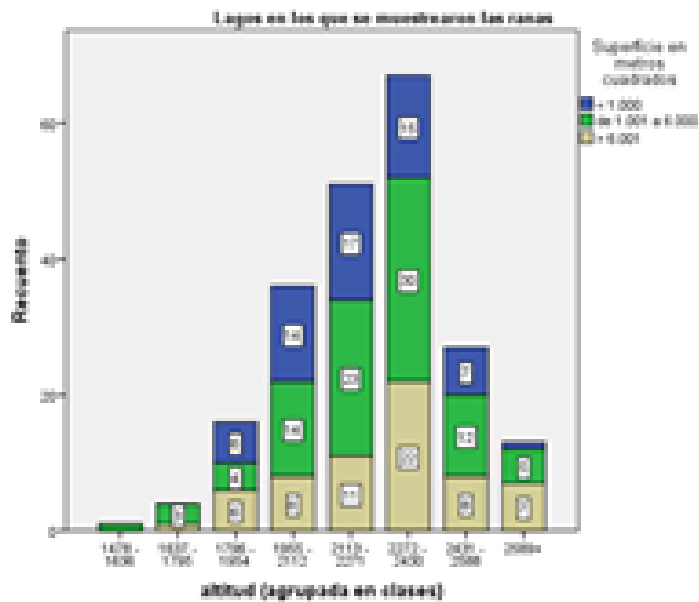


Figura 1.- Superficie de los lagos muestreados en función de su altitud

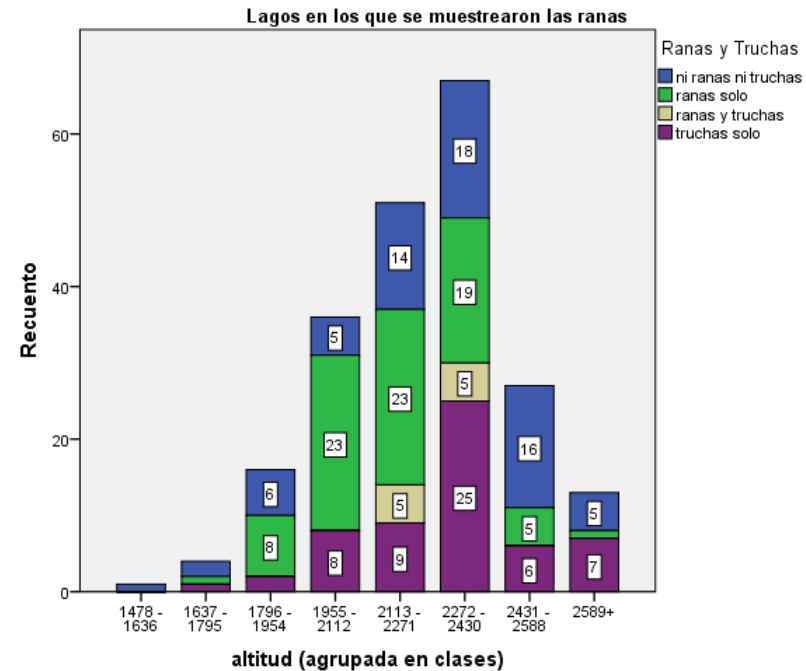


Figura 2.- Presencia y ausencia de ranas y truchas en función de la altitud del lago.

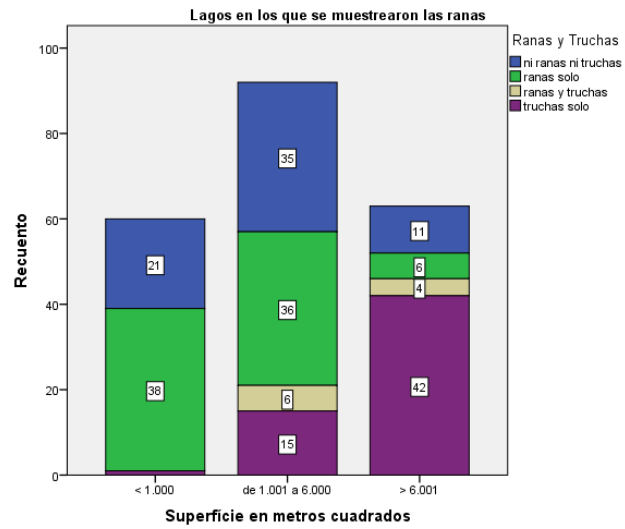


Figura 3.- Presencia y ausencia de ranas y truchas en función de la superficie del lago.



Figura 4.- Lago de alta montaña con charcas en su interior

Tabla 1.- Resumen en % de los datos expuestos en las figuras 1, 2 y 3.

altitud	Total lagos muestreados	% de lagos muestreados	% de lagos habitables por ranas o truchas	% Con ranas solo	% del posible impacto por la introducción de alevines		% lagos mayores de 6.000 m <sup>2</sup>	% lagos con alevines
1478-1636	1	0.5	0	0	0	12.5	20	25
1637-1795	4	2	50	25	25			
1796-1954	16	7.5	63	50	13	17.5	27	19
1955-2112	36	17	86	64	22			
2113-2271	51	24	73	55	18	27.5	28	30
2272-2430	67	31	73	36	37			
2431-2588	27	12	41	19	22	38	32	32
>2589	13	6	62	8	54			
<b>TOTAL</b>	215	100						

Los lagos muestreados son muy significativos de la distribución de las superficies de agua en los valles estudiados y, tal y como podemos observar (figura 1), están situados a altitudes comprendidas entre los 1.600 y los 2.800 m snm, encontrándose los lagos más grandes a unas altitudes de 2.400 a 2.700 m.. A medida que se alcanzan las cotas más altas dominan los grandes ibones (lagos de origen glaciar) donde se acumula el agua de la fusión del hielo y la nieve al pie de grandes cimas que rodean el circo glaciar.

La introducción de alevines de trucha la realizan por medio de helicópteros en lagos de altitud (figura 2), escogiendo los de mayor tamaño para asegurar la pesca de truchas de un tamaño apropiado en los siguientes años, fuente importante de ingresos para el Parque que vende las licencias de pesca deportiva.

En el transcurso de un año y medio, los alevines pasarán a ser truchas exclusivamente destinadas para la pesca, en este período de tiempo los peces alcanzan un peso total de unos 300 gramos y ya se puede contar con algunos ejemplares reproductores que darán origen a próximas generaciones.

La mayor parte de los lagos muestreados (un 65% aproximadamente) son susceptibles de ser habitados por la *Rana temporaria* que tiene su límite de distribución altitudinal en los 2.600 m snm coincidiendo este límite con trabajos anteriores de uno de nosotros realizados en el macizo de Cambales (Vences et al., 2003).

Al introducir alevines de trucha (*Salmo trutta*) en los lagos de mayor superficie que corresponden a un 28% del total observamos que se reduce en el mismo porcentaje el número de lagos habitados por ranas, cohabitando ranas y peces solamente en un 0.5% del total de lagos estudiados (Tabla 1).

Otros autores opinan también que la introducción de salmónidos en los lagos de montaña del Pirineo trae consigo una reducción dramática de las poblaciones de anfibios (DELACOSTE et al., 1997).

Teniendo en cuenta que la presencia y la biomasa de la trucha (*Salmo trutta*) en los pequeños lagos del Pirineo francés está muy directamente relacionada con la altitud (entre los 600 y los 1350 metros de altitud), la cobertura vegetal, la temperatura máxima del verano (entre 10 y 16 °C), la conductividad del agua, la media de la velocidad del agua del fondo, la media de la profundidad y la relación anchura profundidad (BARAND et al., 1993), la introducción de alevines de trucha en alta montaña crea una nueva competencia y desplaza a las ranas de sus áreas de distribución habituales dejándolas frecuentemente aisladas al interrumpir la continuidad de las charcas con posibilidad de reproducción, sobre todo a grandes altitudes, creándose así poblaciones propias de cada macizo montañoso y favoreciendo una posible deriva genética.

Hemos observado el 0.5% de los lagos en los que cohabitan ranas y peces las puestas y los renacuajos de los anfibios se encuentran en charcas, formadas por afluentes o efluentes, aisladas de la gran masa de agua, o en casos excepcionales situadas dentro del propio lago (figura 4), protegidas de sus depredadores.

Atendiendo al 30% de lagos o grandes charcas que no han sido sembrados con alevines de truchas y tampoco están habitadas por ranas vemos que hay una diferencia paisajística significativa con el resto: los primeros presentan un 60 % de laderas con roca frente a un 40% y un 30% de ladera con hierba frente a un 50%. Esto es, la hierba en el litoral y en las laderas inmediatas al lago favorece la existencia de ranas, que encuentran en estas áreas los insectos que les sirven de alimento.

Podemos concluir que la siembra con alevines de trucha en los lagos de alta montaña reducen las poblaciones de anfibios y crean barreras geográficas en las grandes altitudes donde se sitúan los puertos de montaña que comunican los valles. Por otro lado muchas cabeceras de valle tienen lagos que por su composición excesivamente rocosa no permite la subsistencia de la *Rana temporaria*. Ambos factores podrían producir una deriva genética de poblaciones aisladas, que junto con otros factores como la contaminación de los sedimentos lacustres por minerales pesados etc.. (factores que trataremos en otros trabajos), pueden llegar a cambiar el comportamiento de las ranas, tal y como nuestro equipo observó en los lagos de la vertiente española (2004, Vieites et al.) y poner en peligro la especie.

## **Sub-línea C.- Medioambiente.**

El **clima** es el factor fundamental que rige un **ambiente natural**, puesto que, proporciona el escenario sobre el cual operan todos los procesos físicos, químicos y biológicos. Esto se hace especialmente evidente en los ambientes extremos de la Tierra, como son las grandes altitudes, donde los efectos se potencian. El clima de las montañas es caleidoscópico, compuesto por millares de microclimas, que están cambiando continuamente a través del espacio y el tiempo. Un conocimiento básico de los procesos climáticos y sus características es un requisito previo para entender un medio montañoso de ambientes normalmente extremos. Como resultado de la variación de la topografía y la humedad y temperatura asociadas, se pueden encontrar grandes contrastes ambientales en cortas distancias. Cerca del límite de las distribuciones de las especies, tales diferencias pueden decidir entre vida y muerte. Plantas y animales encuentran ventajas competitivas al alcanzar las cotas más altas.

También se producen variaciones en cortos periodos de tiempo que refuerzan las anteriores: por ejemplo, áreas expuestas al sol sufren contrastes de temperatura mucho mayores y más frecuentes que las que están a la sombra. Este contraste se hace patente en las montañas donde la capacidad calorífica del aire alpino, poco denso, permite una mayor incidencia de radiación solar.

Temas:

- **Fenología (C-1)**
- geomorfología, tiempo atmosférico y clima (C-2)

**Climate** is the fundamental factor in establishing a **natural environment**, it sets the stage upon which all **physical, chemical, and biological processes** operate. This becomes especially evident at the climatic margins of the earth as high altitudes where the climate effects are much more evident. The climate of mountains is kaleidoscopic, composed of myriad individual segments continually changing through space and time. Here, extremes constitute the norm; for this reason, a basic knowledge of climatic processes and characteristics is a prerequisite to an understanding of the mountain milieu. Great environmental contrasts occur within short distances as a result of the diverse topography and highly variable nature of the energy and moisture fluxes within the system. Near the margin of a species' distribution, such differences may decide between life and death; thus, plants and animals reach their highest elevations by taking advantage of microhabitats.

Great variations also occur within short time spans. Areas exposed to the sun undergo much greater and more frequent temperature contrasts than those in shade. The difference is much greater in mountains because the thin alpine air does not hold heat well and allows a larger magnitude of solar radiation to reach the surface.

## **C-1 Tema: Fenología**

La fenología estudia los fenómenos biológicos que se presentan periódicamente acoplados a ritmos estacionales y que tienen relación con el clima y con el curso anual del tiempo atmosférico en un determinado lugar. Los ciclos biológicos de plantas anuales e insectos, los cambios observados en el desarrollo de árboles y arbustos, la reproducción de los anfibios, etc. sirven para definir las fases fenológicas.

Las plantas y los insectos interactúan permanentemente en procesos ecológicos como la polinización y el inicio de la reproducción de los anfibios y de otros insectívoros debe de sincronizarse con la fenología de sus presas. Los desacoples entre niveles tróficos, debidos a cambios en las condiciones climáticas, son motivos muy decisivos en el declive de las poblaciones. Esta alteración de la sincronización también se puede producir entre las plantas y los insectos polinizadores.



### **Tesis 3.- *Rana temporaria* (L.1758) en el Pirineo Central: disponibilidad de presas en ambientes perilacustres.**

- 1.-Ambito estudiado .....
- 2.-Introducción sub-línea .....
- 3.-Introducción al tema.....
- 4.- Metodología

El área de estudio comprende la vertiente francesa de los Pirineos correspondiente al Parque Nacional (sectores de Aspe, Ossau, Arrens, Cauterets, Luz y Aure) y la vertiente española correspondiente al Alto Aragón occidental, entre los 1.161 msnm y los 2.747 m de altitud, longitud entre 0°0'0" W y 0°45'0" W y latitud entre 42°36'0" N y 42°57'0" N. La mayor parte de los lagos pirenaicos están situados por encima de los bosques, siendo el paisaje circundante más general el prado alpino o alpinizado.

En esta área se han inventariado 161 especies de plantas que habitan en la franja de tierra de 1m que rodea cada uno de los 215 lagos visitados. En cada lago se prospectó la presencia o ausencia de anfibios y por otro lado la dirección del Parque Nacional nos facilitó la lista de todos los lagos en los que se han introducido alevines de trucha en los años anteriores.

En el verano de 2013 se estudiaron los insectos florícolas de la vegetación circundante de 9 lagos del Alto Aragón occidental capturando los insectos que las habitan. Otros miembros del equipo estudiaron 169 contenidos estomacales de rana (1997, Vieites et al.)

## 6.- Primeros resultados (fase de abducción):



Figura 1.- Vegetación presente en todos los lagos poblados con anfibios y su % de abundancia. A la izquierda el “Lac del Oueil Nègre” (Gave de Pau) representativo del conjunto de la vegetación citada. En el centro flor de *Rhododendron ferrugineum*, a la derecha arriba flor de *Trifolium alpinum*.

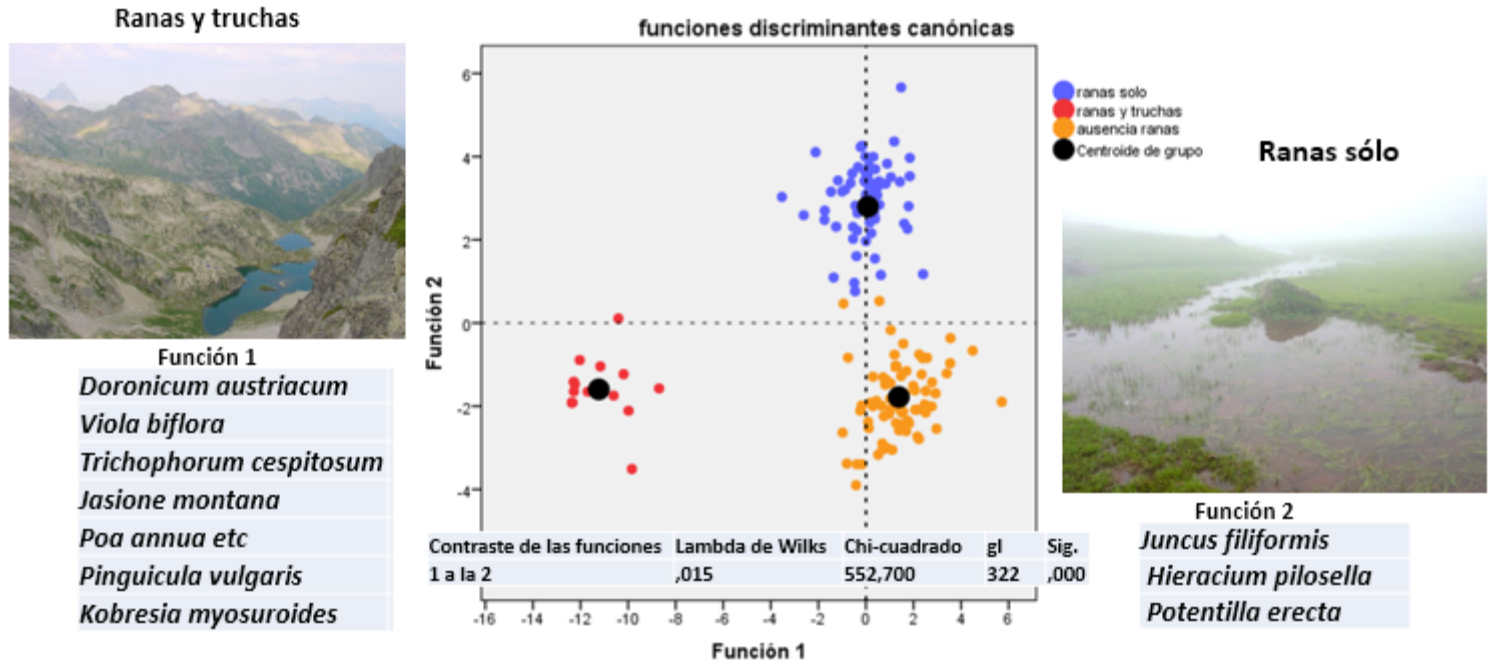


Figura 2.- Gráfico de las funciones discriminantes canónicas utilizando como variables 161 especies de vegetales y lista de los que más pesan sobre cada función. Quedan bien separados los lagos colonizados por Rana temporaria de los lagos no colonizados y de los lagos en los que la rana puede convivir con la trucha. Fotografías de lagos representativos de los conjuntos ranas y truchas (Lacs de Carnau, Gave d'Ossau) y ranas sólo (Laquets de Banasse, Gave d'Aspe).

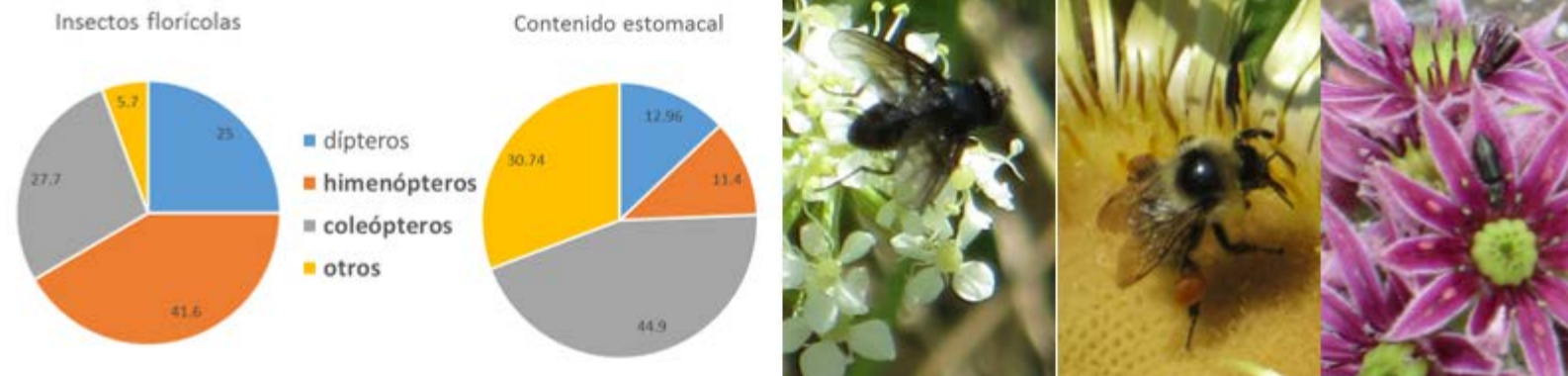


Figura 3.- El esquema de la izquierda representa el % de insectos florícolas de la vegetación circundante de 9 lagos del Alto Aragón occidental, en el del centro se representa el % de insectos encontrados en 169 contenidos estomacales de Rana temporaria estudiados en otro trabajo por nuestro equipo (1997, Vieites et al.). A la derecha fotografías de flores con un díptero sobre *Meum athamanticum*, un himenóptero sobre *Carlina acanthifolia* y varios coleópteros florícolas sobre *Sempervivum montanum*.

Basándonos en los ecosistemas Pirenaicos definidos anteriormente por uno de nosotros (1982, Dendaletche et al.), hemos caracterizado cada uno de los 215 lagos estudiados mediante 18 ambientes florísticos que en forma de mosaico rodean la masa acuática: 1.- Matorrales de *Rhododendron ferrugineum* y *Vaccinium myrtillus* bien desarrollado en las laderas umbrías donde en el tiempo de floración transforma estos lugares en un manto rojo que cubre las pedrizas y rocas. Junto a ellos encontramos especies calcífugas como *Homogyne alpina*, higrófilas como *Bartsia alpina*, *Geranium cinereum* y *Polygonum viviparum*, especies montanas como *Jasione montana* o *Calluna vulgaris*, o especies de mayor altitud como *Alchemilla alpina*. En lugares más rocosos, insolados y ventosos encontramos *Vaccinium uliginosum*. 2.- Zonas higrófilas con nardo *Nardus stricta*, cuya aptitud para soportar grandes nevadas le permite vivir en la parte baja de las pendientes. Estos cervunales típicos de suelos acidificados donde crece *Trifolium alpinum*, *Geum montanum*, *Meum athamanticum*, *Lychnis alpina*, *Arnica montana*, *Nigritella nigra*, etc.. son muy característicos de la montaña pastoral y abrigan dos grupos de plantas de ecología muy diferente: el grupo invernal ligado a la fusión de las nieves representado por *Soldanella alpina*, *Primula integrifolia*, *Ranunculus pyrenaicus* y *Merendera pirenaica*, y el cervunal de las crestas con *Plantago alpina* y *Antenaria dioica*.

Estos dos primeros ambientes están presentes en todos los lagos poblados con anfibios (Figura 1) y parece que su existencia es imprescindible para que estos lagos sean colonizados por *Rana temporaria*.

3.- Las formaciones de megaforbios con *Doronicum austriacum*, *Veratrum album*, *Luzula desvauxii*, *Aconitum*, *Adenostyles alliariae*, *Geranium sylvaticum* y *Viola biflora*. 4.- Pastos de *Festuca eskia*, bien desarrollados en las solanas graníticas, con especies calcífugas como *Androsace carnea*, *Veronica fruticans* y *Luzula nutans*. En altitud se sustituyen por los prados de *Carex curvula*. 5.-

5.- Prados calcícolas que difieren notablemente de los acidófilos con *Gentiana acaulis*, *Phyteuma orbiculare*, *Gentiana verna*, *Plantago media*, *Anthyllis vulneraria*, *Carex sempervirens* y *Draba aizoides*. 6.- Prados de *Kobresia myosuroides*, especie boreoalpina que ocupa crestas y lugares ventosos desprovistos de nieve gran parte del invierno y forma cespedes rígidos de color marron muy característicos con *Carex atrata* y el edelweis *Leontopodium alpinum*. 7.- Prados del dominio montano y subalpino con *Potentilla erecta*, *Galium pyrenaicum*, *Silene acaulis*, *Hieracium pilosela*, *Phleum alpinum*, *Lotus alpinus*, *Bellis perennis*, *Gentiana lutea*, *Prunella vulgaris*, *Botrychium lunaria*, *Thalictrum alpinum* y *Galium verum*. 8.- Vegetación de fuentes y arroyos, afluentes o efluentes del lago, bien representados por *Epilobium alsinifolium* con *Caltha palustris*, *Saxifraga stellaris*, *Saxifraga aizoides*, *Cardamine raphanifolia*, *Fontinalis antipyretica*, *Pinguicula grandiflora*, *Veronica becabunga*, *Swertia perennis*, *Carex frígida* y *Carex rostrata*. 9.- Los prados constantemente empapados de agua procedente del desagüe del lago, con *Viola palustris*, *Selaginella selaginoides*, *Carex echinata*, *Carex flava* y *Succisa pratensis*. 10.- Las turberas de *Sphagnum* con *Parnassia palustris*, *Erica*, *Pedicularis* y abundantes juncos como *Juncus filiformis*, *Juncus articulatus* o *Juncus inflexus*. 11.- Humedales alcalinos con *Pinguicula vulgaris*, *Primula farinosa* y la hierba de algodón *Eriophorum latifolium*. 12.- Vegetación lacustre con *Ranunculus aquatilis*, *Sparganium angustifolium* y *Chara foetida*. 13.- Los neveros cuya nieve permanece durante gran parte del verano y junto a ella crece *Gnaphalium supinum*, *Sibbaldia procumbes*, *Armeria maritima alpina*, *Veronica alpina*, *Carex nigra*, *Salix herbácea* y *Ranunculus alpestris*. 14.- Los matorrales de *Empetrum nigrum* que sufren una importante cobertura invernal de nieve donde crece *Huperzia selago* en los lugares más húmedos. 15.- Plantas glareícolas como *Cryptogramma crispa*, *Hutchinsia alpina*, *Linaria alpina*, *Carduus carlinoides*, *Primula viscosa*, *Salix reticulata*, *Oxyria digyna*, *Rumex scutatus*, *Dethawia tenuifolia* y en gleras fijadas *Saxifraga oppositifolia*. 16.- Las rocas con *Sedum álbum*, *Alchemilla vulgaris*, *Allium schoenoprasum*, *Sempervivum arachnoideum*, *Globularia repens*, *Rhamnus pumilus* y *Sempervivum montanum*.

17.- Ruderales nitrófilas como *Poa annua*, *Taraxacum*, *Trifolium repens*, *Chenopodium bonus-henricus*, *Rumex crispus* y *Rumex alpinus*. 18.- Enclaves termófilos con enebro *Juniperus communis* con poca cobertura de nieve en el invierno, donde encontramos también *Euphrasia*, *Anthoxanthum odoratum* y *Carum carvi*.

Todos estos grupos discriminan con gran éxito (Lambda de Wilks 0.01) los lagos colonizados por Rana temporaria de los lagos no colonizados al igual como discrimina también los lagos en los que la rana puede convivir con la trucha, pues en estos últimos lagos abundan las flores que atraen a los insectos florícolas y la abundancia de estos compensa a los anfibios la pérdida de población por parte de las truchas que los depredan (Figura 2).

Las ranas del Pirineo consumen principalmente presas de pequeño tamaño (menores de 10 mm) representadas principalmente (figura 3) por los coleópteros (44'9%), los dípteros (12'9%) y los himenópteros (11'4%), según estudios anteriores del equipo del Laboratorio de Anatomía Animal (1997, Vieites et al.). Junto a estas, en el 59% de los 169 contenidos estomacales estudiados, se encontraron restos vegetales pertenecientes principalmente a flores de *Rhododendron ferrugineum*. Al estudiar los insectos que acuden a las flores que crecen junto a los lagos vemos que los dípteros, himenópteros y coleópteros componen la fauna florícola más importante. Las ranas capturan más fácilmente los coleópteros, pues estos permanecen en las flores y no las abandonan a la velocidad que lo hacen los himenópteros o los dípteros.

5.- Investigación coordinada y sincronizada.....

7.- Hipótesis planteadas (fase de deducción): La diversidad florística de ambientes perilacustres permite a los anfibios sincronizar su periodo de actividad con la de sus presas que son generalmente insectos polinizadores. En los lagos en que esta diversidad se simplifica no son aptos para que sean colonizados por anfibios.



## C-2 Tema: geomorfología, tiempo atmosférico y clima.

Se restauró una parcela en alta montaña correspondiente a un área de unos 5000 m<sup>2</sup> situada en las cercanías del refugio de Respomuso, en el Circo de Piedrafita, Pirineo aragonés, provincia de Huesca. Las coordenadas son 42,817 N, 0,287 W y la altitud es de 2200 m sobre el nivel del mar. Aproximadamente un cuarto de la parcela es plana, con la otra mitad presentando una pendiente de una media de 20° orientada al sudeste. En cuanto al clima, la temperatura media anual es de 4,48 °C, con una media de 9,13 °C en los meses de mayo a septiembre, que es cuando la zona es más accesible andando desde los 1500 msnm, pues el resto del año solo se puede alcanzar esquiando o con helicóptero



Figura 1 Humedal de la parcela restaurada, con las romazas al fondo norte

La estrategia general de actuación consistió en la retirada de la parte aérea de las romazas, seguida de una modificación de las condiciones del suelo que lo hagan favorable a la colonización por parte de especies autóctonas y la siembra o plantación de especies locales clave que puedan competir con las especies invasoras y así restablecer la composición del ecosistema anterior a la existencia de la majada.

Finalmente, después de dos años de recuperación, la parcela se monitorizó con termómetros tipo *Ibutton* programados para acumular en memoria las temperaturas tomadas cada 4 horas durante un año. Estos mini *dataloggers* se situaron en el año 2004 en distintos ambientes y puntos de la parcela y se leyeron cada agosto desde el año 2005 a 2009.

Se instalaron 10 termómetros (figura 2): 1.- En el borde inferior de un cantil con exposición SW, debajo de rocas, junto a un hormiguero; 2.- En la parte superior del cantil; 3.- En un área de prado seco; 4.- Al sur de las charcas, en zona húmeda; 5.- En el centro del humedal, enterrados en fango; 6.- En el fango del fondo de la charca más grande y siempre debajo del agua; 7.- En el centro del humedal, enterradas en fango; 8.- En el borde de las romazas; 9.- En un prado situado en el límite norte de la parcela y debajo de gruesas piedras; 10.- En la caseta de la estación meteorológica (perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional) a metro y medio del suelo.

Restaurados totalmente los ambientes húmedos junto al Refugio de Respomuso tardaron dos años en mantener una población de unas 30 ranas cuyo comportamiento y desplazamientos fueron estudiados a lo largo de tres años. La hibernación tenía lugar en los fondos fangosos de las charcas. Durante el verano las ranas adultas se refugiaban todas juntas en un hueco profundo formado en un murete de piedra junto a una fuente artificial. Todas las mañanas salían a comer cruzando parte de la parcela y dirigiéndose al límite de la misma donde abundan aun las romazas que crean un área densa y húmeda, protegida del sol y de los depredadores y con innumerables insectos, que forman parte principal de su alimentación, por la noche tienen actividad solamente cuando la temperatura del aire es alta (2000, Vences, Palanca et al). No se oyeron nunca cantar en ningún momento, incluso durante el apareamiento, observación realizada durante todo el periodo de vida activa (de finales de mayo a primeros de octubre), por nosotros y por los guardas del Refugio.



Figura 2. Límites de la parcela junto al Refugio de Respomuso y situación de los termómetros

La temperatura del aire durante los meses de octubre a mayo es en general menor de 0°C, con mínimas frecuentes de -40 °C y máximas inferiores a 10°C (figura 3).

Del resto de los puntos instrumentalizados hay que destacar la constancia de las temperaturas durante el invierno en el fango del fondo de la charca (figura 4) donde los valores no bajan nunca de 0,5° C y la nieve, que alcanza varios metros de espesor, cubre toda la superficie. Desde mitad de mayo a finales de septiembre los valores de la temperatura son superiores siempre a 6°C y a mitad de mayo las ranas salen del letargo invernal y empiezan el periodo de reproducción, aun cuando la nieve y el hielo cubren aún la mitad de las charcas donde tiene lugar el amplexus y la puesta (2004.- Vieites, Nieto, Barluenga, Palanca et *all*).

Los fondos fangosos de las charcas en alta montaña son los lugares donde hiberna la *Rana temporaria*, propia de estas altitudes en el Alto Aragón, ya que en ellos la temperatura nunca baja de 0,5° C. A partir de la estabilización de la temperatura del agua por encima de los 6°C empiezan la actividad reproductora y depredadora. Las ranas de esta especie que habitan nuestra área de estudio no cantan fuera del agua, posiblemente tengan costumbres diferentes de las observadas en otras altitudes y formen poblaciones diferenciadas tal y como observó uno de nosotros al realizar un estudio anatómico (1995, Palanca et *all*; 1997, Vences, Palanca et *all* ). El único canto que hemos observado en los ejemplares del área es el canto inducido cuando se les captura con la mano. La recuperación del área experimental fue de gran utilidad para ampliar los conocimientos sobre el comportamiento de esta especie. Como la parcela de estudio está situada junto a un Refugio vigilado, perteneciente a la Federación Española de Montaña y Escalada, pudieron realizarse observaciones durante todo el año.

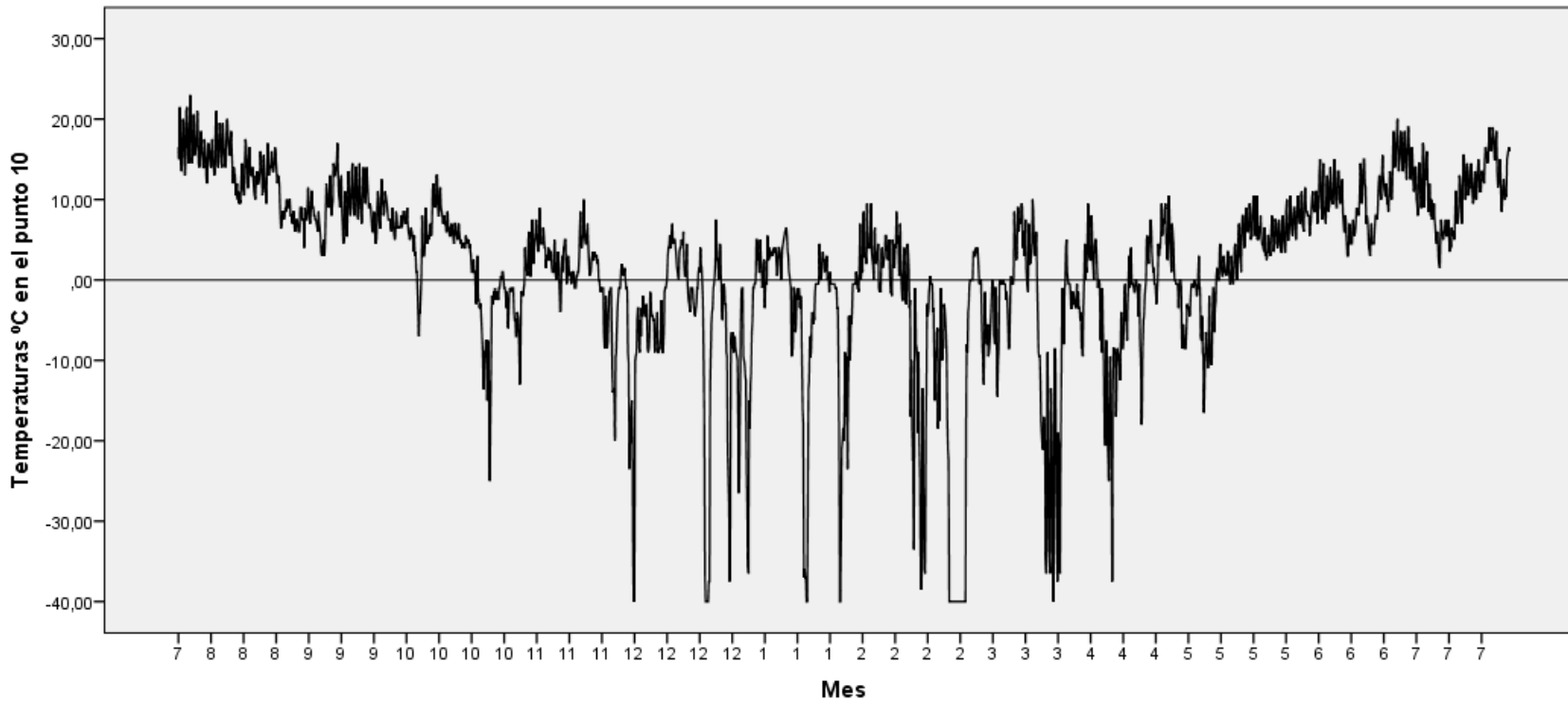


Figura 3.- Temperaturas tomadas en la caseta de la estación metereológica situada junto a la parcela (punto 10).

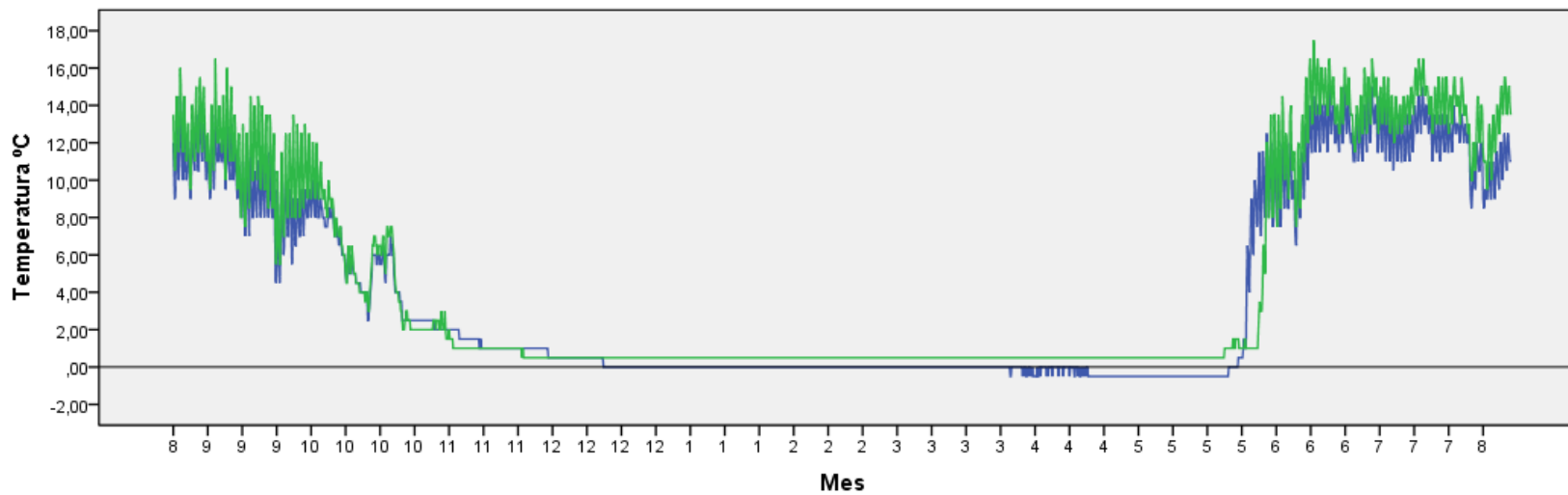


Figura 4 Temperaturas a lo largo del año: punto7 (azul) barro de un humedal medio y punto 8 (verde) fango del fondo de una charca permanente



## BIBLIOGRAFÍA CITADA GENERADA POR NUESTRO EQUIPO

1982.- Dendaletche, CL., Affre L. et G., Barrouquere, G., Bolle, C., Coiffait, H., Lalane, R., Palanca Soler, A., Saule, M., Soust, J., Tanguy Le Gac, J., Terrasse, J.F., Tiberghien, G.- Guia de los Pirineos. Omega. 790 pp.

1995.- Palanca Soler, A., Rodriguez Vieites, D. & Suárez Martínez, M.-Contribución al estudio anatómico del género *Rana* L., 1758 en el alto Aragón. *Lucas Mallada*, 7: 227–247.

1997.- Vieites, D.R., Nieto Román, S. & Palanca Soler, A.- Alimentación de las ranas pardas *Rana* gr. *Temporaria*, en el Circo de Piedrafita (Pirineos, España). *Pirineos* 150; 91-104.

1998.- Vences, M., Palanca Soler, A., Rodriguez Vieites, D. & Nieto Roman, S.,- Designation and description of a lectotype of *Rana aragonensis* Palanca Soler et al., 1995 (Anura: Ranidae). *Herpetozoa*, 10: 129–134.

2000.- Vences, M, Palanca, A., Vieites, D.R., Nieto Román, S., Riobo, A. & Galan, P. Summer microhabitat use and daily activity cycles in a high altitude Pyrenean population of *Rana temporaria*, *Herpetological Journal* 10: 49-56.

2002.- Veith, M., Vences, M., Vieites, D. R., Nieto-Roman, S. and Palanca Soler, A.- Genetic differentiation and population structure within Spanish common frogs (*Rana temporaria* complex; Ranidae, Amphibia). *Folia Zoologica*. 51(4): 307-318.

2003.- Vences, M., Kurt Grossenbacher; Marta Puente; Antonio Palanca-Soler y Vieites, D.R.- The Cambalès fairy tale: elevational limits of an other amphibians in western Europe revisited. *Folia Zoologica* 52(2); 189-2002.

2004.- Vieites, D.R., Sandra-Nieto Roman, Barluenga, M., Palanca-Soler, A., Vences, M., & Axel Meyer, A.- Post-mating clutch piracy in an amphibian. *Nature* 431: 305-308.

2006.- Lavilla I, Filgueiras AV, Valverde F, Millos J. Palanca Soler A, Bendi-cho C. Depth profile of trace elements in a sediment core of a high-altitude lake deposit at the Pyrenees, Spain. *Water Air Soil Pollut*; 172: 273-293.

2009.-DG Zaharescu, PS Hooda, A Palanca Soler, J Fernandez, CI Burghelea. Trace metals and their source in the catchment of the high altitude Lake Respomuso, Central Pyrenees. *Science of the Total Environment*; 407: 3546–3553.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA AJENA A NUESTRO EQUIPO

- 1972.- Nei, M., .- Genetic distance between populations. Amer. Nat., 106: 283–292. 2003 – 2007.- Gridi-Papp, M (ed.).. SoundRuler: Acoustic Analysis for Research and Teaching. <http://soundruler.sourceforge.net>.
- 1983.- Creus Novau, J.-El clima del alto aragón occidental. Monografías del Instituto de Estudios Pirenaicos 109. Instituto de Estudios Pirenaicos. 233 pag.
- 1993.- Hebert, P. D. N. & Beaton, M. J.,: Methodologies for allozyme analysis using cellulose acetate electrophoresis. Helena Laboratories, Beaumont.
- 1993.- Barand,P.; Delacoste,M.; Lascaux,J.M. y Belaud,A..- Relationships between habitat features and brown trouts populations (*Salmo trutta* L.) in Neste d'Aure Valley. Applied-limnology-and-limnology-application.-papers-and-discussion-from-the-conference.Grandmottet,J.P.;Masson,J.P.;Balvay,G. ; Verneaux, J. eds. no. 331 pp. 321-340.
- 1997.- Delacoste,M.; Baran,P.; Lascaux,J.M.; Abad,N. y Besson,J.P.- Evaluation of salmonid introductions in high-elevation lakes and streams of the Hautes-Pyrenees region, Species introduction, in Bergot,F.;Vigneux,E. The freshwater aquatic environment. Proceedings of the seminar. no. 344-345 pp. 205-219.
- 1997.-Sigismund, H. R.,.- GSTAT, version 3. München.



1999.- USEPA (United States Environmental Protection Agency). SW-846 reference methodology: method 3050B - standard operating procedure for the digestion of soil/sediment samples using a hotplate/beaker digestion technique, Chicago, Illinois.

1999.- SQG (Sediment Quality Guidelines). Sediment quality guidelines developed for the national status and trends program (PDF); ([www.epa.gov/waterscience/cs/guidelines.htm](http://www.epa.gov/waterscience/cs/guidelines.htm))

1999.- Emerson SB, Boyd SK.-Mating vocalizations of female frogs: Control and evolutionary mechanisms. *Brain Behav Evol* 53:187–197.

2001.- Narins PM, Lewis ER, Purgue AP, Bishop PJ, Minter LR, Lawson DP.- Functional consequences of a novel middle ear adaptation in the West African frog *Petropedetes parkeri* (Ranidae). *J Exp Biol* 204:1223–1232.

2001.- Botsford, L.W., Hastings, A., Gaines, S.D., .- Dependence of sustainability on the configuration of marine reserves and larval dispersal distances. *Ecol. Letters.*, 4:144:150.

2003 – 2007.- Gridi-Papp, M (ed).. SoundRuler: Acoustic Analysis for Research and Teaching. <http://soundruler.sourceforge.net>.

2003.- Marco, A.- Impacto de radiación ultravioleta y contaminación en anfibios. *Munibe*, 16:44-55.

2004.- Kelley DB Vocal communication in frogs. *Curr Opin Neurobiol* 14:751–757

2000.-Halstead MJR, Cunninghame RG, Hunter KA. Wet deposition of trace metals to a remote site in Fiordland, New Zealand. *Atmos Environ*; 34:665- 676.

2004.- Narins PM, Feng AS, Lin W, Schnitzler HU, Denzinger A, Suthers RA, Xu CH.-Old world frog and bird vocalizations contain prominent ultrasonic harmonics. *J Acoust Soc Am* 115:910–913.

2004.- Yuan C, Shi J, He B, Liu J, Liang L, Jiang G. Speciation of heavy metals in marine sediments from the East China sea by ICP-MS with sequential extraction. *Environ Intern*; 30, 769–783.

2005.- Hermanson MH, Brozowski JR. History of inuit community exposure to lead, cadmium, and mercury in sewage lake sediments. *Environ Health Per-spectives*; 113(10): 1308- 1312.

2007.- Han Y, Jin Z, Cao J, Posmentier ES, An Z. Atmospheric Cu and Pb deposition and transport in lake sediments in a remote mountain area, Northern China. *Water Air Soil Pollut*; 179:167–181.

2007.-Peter M. Narins, Albert S. Feng, Richard R. Fay Arthur N. Popper Edit.- *Hearing and Sound Communication in Ampphibians*. Springer Science+Business Media, LLC. 376pp.

2009.- Godoy, J.A., .- La genética, lo marcadores moleculares y la conservación de las especies. *Ecosistemas*, 18: 23-33.

2009.- Cowen, R.K., Sponaugle, S,. Larval dispersal and marine population connectivity. *Annu. Rev. Mar. Sci.*, 1: 443-466.

2013.- Nelson A. Velásquez, Jesus Marambio, Enzo Brunetti,Marco A. Méndez, Rodrigo A. Vásquez and Mario Penna.- Bioacoustic and genetic divergence in a frog with a wide geographical distribution. *Biological Journal of the Linnean Society*, 2013, 110, 142–155.